

Pollution par les particules fines

Mesures de black carbon

Bilan 2014 – 2015 des mesures sur les sites de Marseille, Nice et Port-de-Bouc

1. Introduction et contexte

Depuis plusieurs années, l'intérêt croissant pour la surveillance des particules de très petites tailles, et pour leur caractérisation chimique a conduit Air PACA à mettre en place un plan de surveillance spécifique pour les particules fines. Parmi les actions de ce plan, Air PACA s'est dotée en 2014 et 2015 de trois analyseurs de carbone suie (ou black carbon) et de deux granulomètres, permettant de caractériser le nombre et la taille des très fines particules.

La présente note technique présente le bilan technique et scientifique des mesures de black carbon réalisées en 2014 et 2015.

Le carbone suie ou black carbon (BC) est mesuré dans la fraction PM_{2,5}, mais se retrouve principalement sur les particules de diamètre inférieur à 1 µm (PM₁). Le BC est issu de la combustion incomplète de combustibles d'origine fossile ou biomassique. Ses sources principales sont la combustion des moteurs (diesels essentiellement), le chauffage résidentiel au bois, au fioul et au charbon, la production d'électricité, le brûlage de déchets verts et agricoles, les incendies de forêts.

L'intérêt porté au black carbon résulte à la fois de ses implications sanitaires et climatiques. La très petite taille du carbone suie lui permet l'accès au poumon profond, et si des incertitudes demeurent sur la toxicité du noyau de carbone graphitisé, il sert de vecteur à des composés organiques et métalliques qui ont des effets sanitaires avérés. D'autre part, il est un contributeur majeur au réchauffement de la planète.

La mesure de ce composé permet :

- sur le court terme, de connaître l'impact du chauffage au bois sur la qualité de l'air et d'étudier en temps réel les sources de combustion lors des épisodes de pollution,
- à moyen ou long terme, d'évaluer les plans d'actions ciblés sur les différents types de sources (trafic, chauffage).

Air PACA dispose actuellement de trois analyseurs de black carbon (analyseurs AE33) opérationnels dans des sites fixes : Marseille, Nice et Port-de-Bouc.

2. Fonctionnement de l'analyseur AE33

L'æthalomètre AE33 détermine les niveaux de black carbon par une méthode optique. Le principe de mesure repose sur l'atténuation de l'intensité d'un faisceau lumineux traversant un échantillon de poussières atmosphériques déposées sur un filtre.



Analyseur AE33

La mesure de l'absorption est faite pour sept longueurs d'ondes différentes (de 370 à 950 nm), ce qui permet de différencier l'origine des sources de combustion, et ainsi d'estimer la part de carbone suie issue de :

- la combustion d'énergies fossiles (principalement du trafic routier),
- la combustion de la biomasse.

Chaque minute, l'appareil délivre, entre autres, le black carbon total (BC, en ng/m^3) et la contribution de la combustion de biomasse, % bb (biomass burning), ce qui permet d'obtenir la concentration massique de black carbon issu de la combustion de biomasse, BC_{wb} , en ng/m^3 (chauffage au bois, brûlage de déchets verts).

Comme, $\text{BC} = \text{BC}_{\text{ff}} + \text{BC}_{\text{wb}}$, où BC est le black carbon total, on en déduit BC_{ff} = black carbon issu de la combustion de dérivés du pétrole (trafic essentiellement).

On peut ensuite déterminer les concentrations de particules (PM) en convertissant les concentrations BC_{wb} et BC_{ff} respectivement en PM_{wb} et PM_{ff} par le biais des coefficients issus de la littérature :

- $\text{PM}_{\text{ff}} = 2,5 \times \text{BC}_{\text{ff}}$
- $\text{PM}_{\text{wb}} = 10 \times \text{BC}_{\text{wb}}$

Où PM_{ff} : particules provenant de la combustion de dérivés du pétrole

PM_{wb} : particules provenant de la combustion de biomasse.

3. Mise en œuvre des appareils et validation des données

a. Mise en service des analyseurs

Les mesures sur les sites urbains de Nice-Arson et de Marseille-Cinq Avenues sont considérées comme opérationnelles à compter du 1^{er} novembre 2014. A Port-de-Bouc, l'installation est plus tardive et les données sont disponibles à partir du 14 septembre 2015.

L'æthalomètre avance périodiquement la bande filtrante et réalise régulièrement des auto-tests, ce qui engendre de fait une absence de mesure. Ces opérations entraînent une perte de l'ordre de 2,5 à 4 % des valeurs quart-horaires par an selon les sites.

En outre, plusieurs pannes sur la ligne de prélèvement, notamment à Nice, ont engendré une perte des données disponibles. Les dates d'installation et taux de fonctionnement sur les trois sites sont indiqués ci-dessous, par saison et pour l'année 2015 :

| | Nice | Marseille | Port-de-Bouc |
|--|------------|------------|--------------|
| Date d'installation | 01/11/2014 | 01/11/2014 | 15/09/2015 |
| Taux de fonctionnement | | | |
| Hiver 2014-2015 (21/12/14 – 19/03/15) | 97 % | 69 % | - |
| Printemps 2015 (20/03/15 – 20/06/15) | 83 % | 91 % | - |
| Été 2015 (21/06/15 – 22/09/15) | 9 % | 89 % | - |
| Automne 2015 (23/09/15 – 20/12/15) | 85 % | 62 % | 77 % |
| Hiver 2015 (20/12/15 – 31/12/15) | 96 % | 97 % | 94 % |
| 2015 | 79 % | 68 % | - |

Période et taux de fonctionnement des analyseurs Black Carbon en 2015

b. Consolidation de la base de données

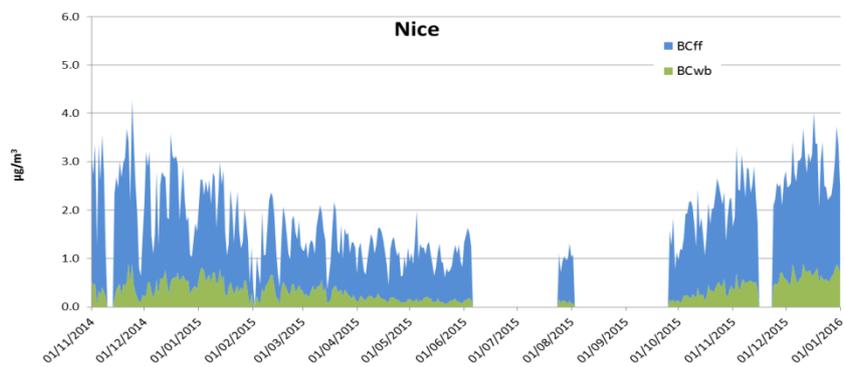
Durant les premiers mois, les appareils n'ont pas été reliés à une station d'acquisition, et les fichiers de données furent récupérés directement sur l'analyseur. Ensuite, des dysfonctionnements ponctuels de liaisons avec la station ont également été à déplorer. Enfin, le produit des valeurs quart-horaires de %bb et de BC délivrées par la station d'acquisition n'est pas égal au BC_{wb} moyen quart-horaire calculé à partir des données issues de l'æthalomètre. Pour toutes ces raisons, il a fallu agréger, pour chacun des trois sites, les valeurs à la minute délivrées par l'AE33 afin de calculer les moyennes quart-horaires.

Les données de black carbon aux différentes longueurs d'onde, de %bb, de BC_{wb} et du coefficient de compensation à 880 nm ont ensuite été réintégrées dans XR pour les années 2014 (Nice et Marseille) et 2015 (pour les trois sites).

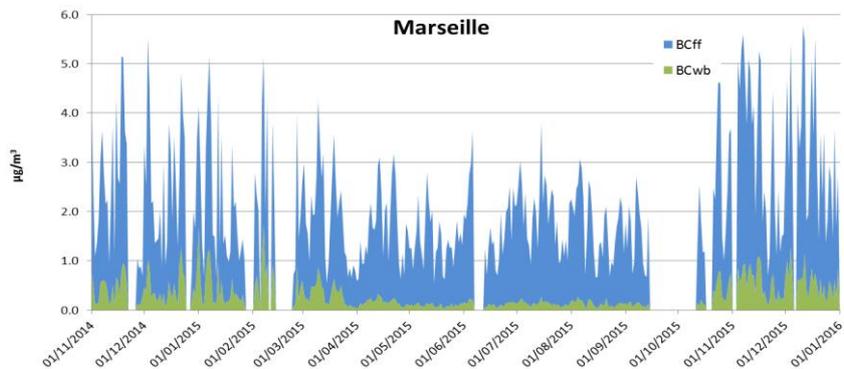
4. Résultats

a. Valeurs journalières

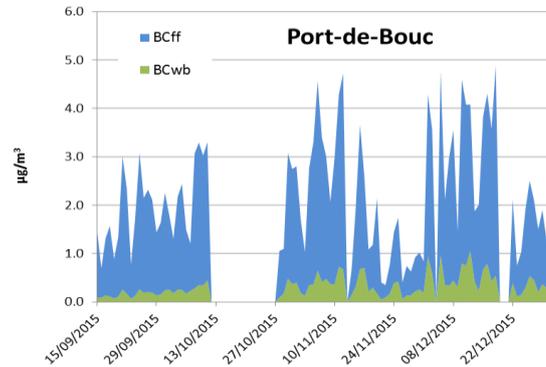
Les résultats des valeurs journalières de black carbon issu de la combustion de biomasse (BC_{wb}) et de combustibles fossiles (BC_{ff}) sont présentés ci-après, pour les trois sites, de la date de mise en service au 31 décembre 2015.



Valeurs journalières de Black Carbon sur le site de Nice (01/11/14 - 31/12/15)



Valeurs journalières de Black Carbon sur le site de Marseille (01/11/14 - 31/12/15)



Valeurs journalières de Black Carbon sur le site de Port-de-Bouc (15/09/15 - 31/12/15)

Ces graphiques montrent que les données journalières peuvent varier sensiblement d'un jour à l'autre. En outre, la saisonnalité de la contribution de la combustion de biomasse est clairement mise en évidence. Entre les mois d'avril et d'octobre, le BC_{wb} est faible et le black carbon provient alors essentiellement du trafic.

En moyenne sur l'année 2015, le BC_{wb} représente 12 % du black carbon à Marseille. Cette valeur s'élève à 19 % à Nice, mais ce résultat peut être biaisé par l'absence quasi-totale de données estivale.

Une comparaison des deux sites est possible en restreignant l'analyse aux 260 jours, entre le 1^{er} novembre 2014 et le 31 décembre 2015, durant lesquels des valeurs journalières sont disponibles simultanément sur ces deux sites.

Alors que le BC_{wb} moyen est identique ($0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), les niveaux de black carbon total sont plus élevés à Marseille qu'à Nice (respectivement $2,3$ et $1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), du fait d'une concentration de BC_{ff} plus importante.

Ainsi, la production de black carbon par le trafic routier est plus importante dans la cité phocéenne, en cohérence avec le nombre de véhicules plus important à Marseille qu'à Nice, et avec les caractéristiques du parc automobile.

En effet, les véhicules diesel sont très majoritairement responsables des émissions de black carbon par le trafic. Les chiffres du Ministère en charge de l'Environnement indiquent que les voitures diesel représentent 66 % du parc automobile dans les Bouches-du-Rhône, contre 53 % dans les Alpes-Maritimes.

Source : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/transports/r/parcs.html>.

De même, au cours des 47 jours durant lesquels les données sont disponibles sur les trois sites, correspondant à une période hivernale comprise entre fin octobre et fin décembre 2015, la concentration de black carbon est plus élevée à Marseille qu'à Nice et Port-de-Bouc (respectivement $3,3$, $2,7$ et $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), pour une concentration de BC_{ff} de $2,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la cité phocéenne, contre $2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur les deux autres points.

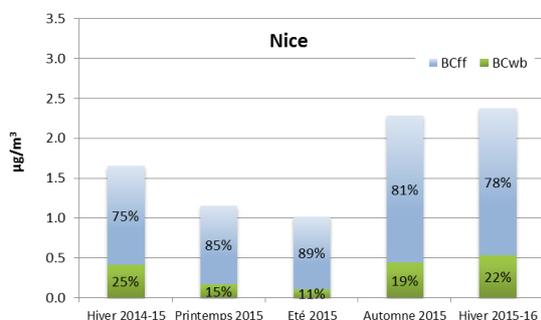
Ainsi, le site de Marseille est davantage exposé à la pollution carbonée, du fait de l'apport plus important lié au trafic routier.

b. Evolution saisonnière

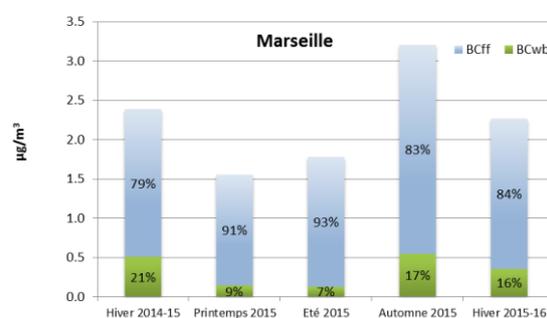
Les graphiques suivants présentent les concentrations saisonnières de black carbon issu de la combustion de biomasse (BC_{wb}) et du trafic (BC_{ff}) pour les sites de Nice et de Marseille.

Sont également indiqués, pour chaque saison, le pourcentage que représentent ces deux sources par rapport au black carbon total.

A noter que la saison hiver 2015-16 s'arrête au 10 février 2016 (et non au 21 mars).



Valeurs saisonnières de Black Carbon sur le site de Nice



Valeurs saisonnières de Black Carbon sur le site de Marseille

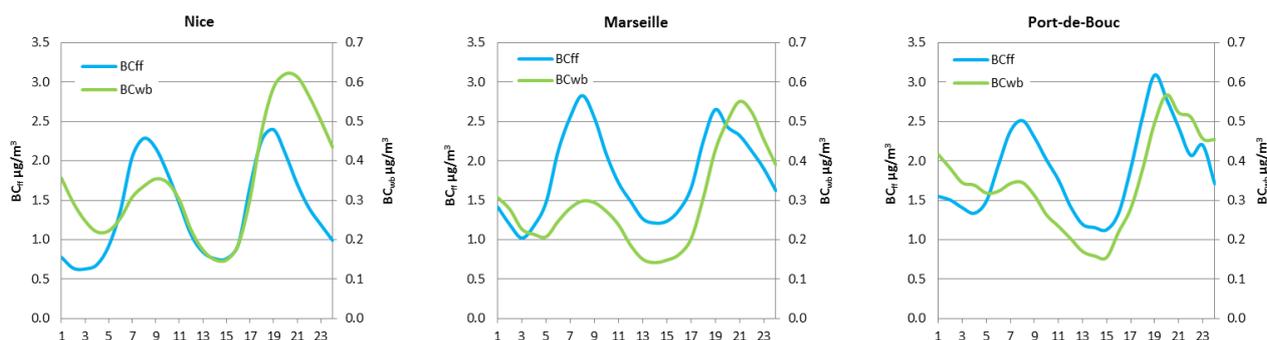
Les saisons du printemps et de l'été sont naturellement marquées par des niveaux de black carbon environ 1,5 à 2 fois plus faibles qu'en hiver et en automne.

L'automne 2015 apparaît comme particulièrement exposé à Marseille, mais ce maximum est à considérer avec précaution car le nombre de données valides sur cette période n'est que de 68 %. Ce maximum n'est pas associé à une chute des températures, qui sont en moyenne de 5 degrés supérieures à celles mesurées en hiver, sur les deux sites.

Sur les deux sites, la combustion du bois peut représenter certains jours, en hiver, plus de 40 % du black carbon. A Port-de-Bouc, où seules les saisons automne et hiver sont disponibles, cette contribution du chauffage au bois est au maximum de 34 %.

c. Profils

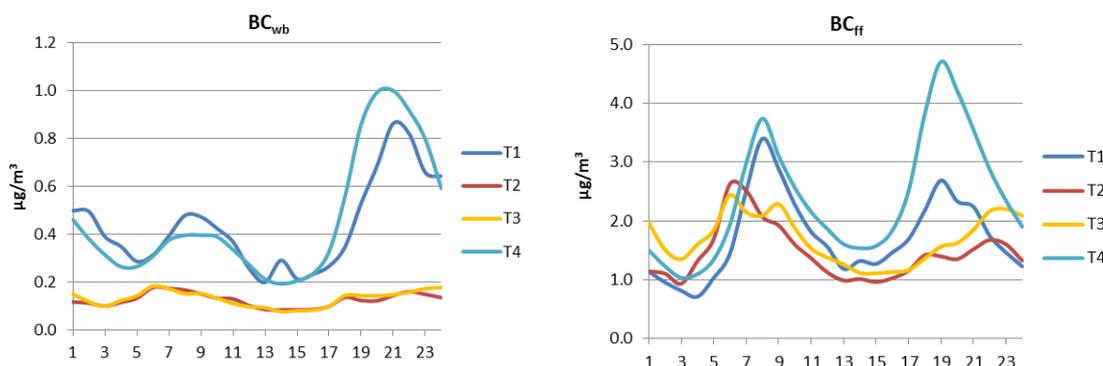
Les profils journaliers des concentrations de BC_{wb} et BC_{ff} sur les sites de Nice, Marseille et Port-de-Bouc pour les périodes disponibles en 2015 sont présentés sur les graphiques suivants.



Profil journalier des concentrations de BC_{wb} et BC_{ff} sur les sites de Nice, Marseille et Port-de-Bouc

Les concentrations du black carbon issu du trafic présentent deux pics centrés à 8 heures et 19 heures TU, qui correspondent aux trajets domicile-travail. Concernant le BC_{wb} , ces deux pics sont également présents, mais le maximum du soir, lorsque les cheminées sont rallumées, est nettement plus marqué que celui du matin.

Une analyse plus fine peut être conduite en décomposant les résultats annuels par trimestre. Les graphiques ci-dessous présentent les profils journaliers de BC_{wb} et BC_{ff} à Marseille, pour les trimestres T1 à T4 :



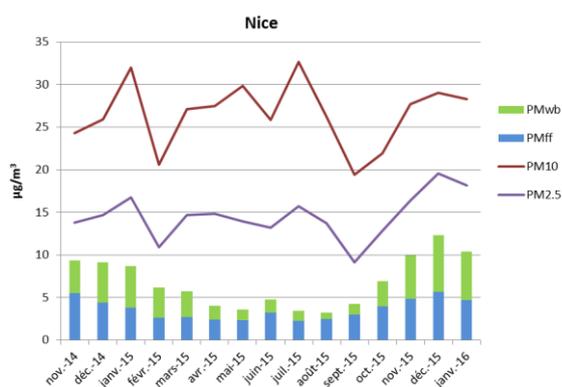
Profil journalier des concentrations de BC_{wb} et BC_{ff} sur le site de Marseille en 2015, décomposé par trimestre

Ces profils montrent clairement que les concentrations de black carbon issu du trafic présentent des variations saisonnières nettement moins marquées que celles provenant de la combustion de biomasse. Ces dernières affichent en saison froide (T1 et T4) un pic en début de nuit et des teneurs nocturnes qui demeurent soutenues. Par contre, en saison chaude les niveaux restent très faibles toute la journée, du fait de l'absence de combustion de bois.

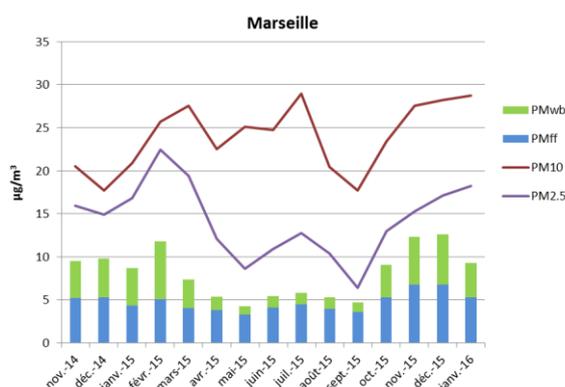
d. Lien avec les concentrations PM

La contribution du trafic (pots d'échappement uniquement, en dehors des émissions dues à l'usure des freins, des pneus, du revêtement, de la remise en suspension...) et celle du chauffage au bois aux niveaux de PM10 est estimée à partir des hypothèses suivantes, issues de données bibliographiques : $PM_{ff} = 2,5 \times BC_{ff}$ et $PM_{wb} = 10 \times BC_{wb}$.

Les graphiques suivants présentent, pour les sites de Nice et de Marseille, les concentrations mensuelles de PM10, PM2,5, PM_{ff} et PM_{wb} sur les périodes disponibles.



Valeurs mensuelles de particules sur le site de Nice



Valeurs mensuelles de particules sur le site de Marseille

Les niveaux moyens de ces différents paramètres, pour l'année 2015, sont résumés dans le tableau suivant :

| 2015 - µg/m ³ | Nice | Marseille |
|---|-----------------------------|------------------------------|
| PM10 | 27 | 24 |
| PM2,5 | 14 | 14 |
| PM_{wb} (PM combustion bois) | 2,8 | 3,1 |
| Min – max mensuel | 1,3 (mai) – 6,6 (décembre) | 1 (mai) – 6,8 (février) |
| PM_{ff} (PM trafic) | 3,3 | 4,6 |
| Min – max mensuel | 2,3 (mai) – 5,7 (décembre) | 3,3 (mai) – 6,8 (novembre) |
| Contribution PM_{wb}/PM10 | 11 % | 13 % |
| En janvier, février, novembre, décembre | 18 % | 22 % |
| De mai à août | 4 % | 5 % |
| Min – max mensuel | 4 % (mai) – 23 % (décembre) | 4 % (mai) – 26 % (février) |
| Contribution PM_{ff}/PM10 | 12 % | 19 % |
| En janvier, février, novembre, décembre | 15 % | 22 % |
| De mai à août | 9 % | 16 % |
| Min – max mensuel | 8 % (mai) – 20 % (décembre) | 13 % (mai) – 24 % (novembre) |

Note : les concentrations annuelles sont estimées à partir des données mensuelles pour limiter la sous-représentativité des valeurs estivales à Nice. Les calculs des minima et maxima mensuels à Nice ne prennent pas en compte les mois de juin, juillet et août.

Du fait du peu de données estivales à Nice (5 jours en juin, 7 en juillet et 2 jours en août), on s'intéressera uniquement aux résultats sur le site de Marseille.

En 2015, les particules provenant de la combustion de biomasse représentent 13 % des PM10, avec une forte variabilité saisonnière : 5 % en été contre 22 % en hiver.

e. Interprétation des épisodes de pollution

Les épisodes durant lesquels les niveaux de particules PM10 et PM2,5 sont élevés peuvent être de plusieurs types :

- des épisodes hivernaux, liés à des températures froides et des situations anticycloniques défavorables à la dispersion,
- des épisodes printaniers, où les aérosols secondaires sont majoritaires, avec une contribution du nitrate d'ammonium importante,
- des épisodes désertiques, qui concernent dans ce cas essentiellement la fraction PM10.

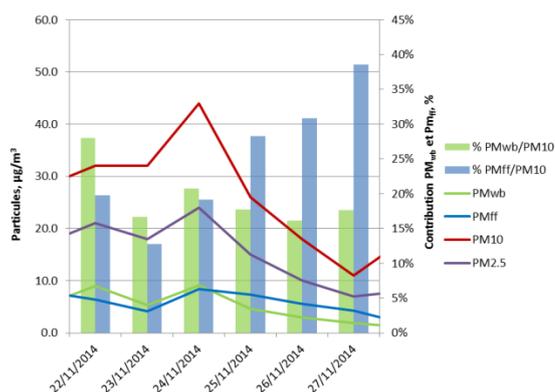
Du 1^{er} novembre 2014 au 31 décembre 2015, des concentrations journalières de PM10 supérieures à 50 µg/m³ ont été relevées :

- le 30 novembre 2014, le 6 mai et le 30 mars 2015 sur le site de Nice, cette dernière date correspondant également au maximum de 31 µg/m³ observé sur les PM2,5,
- le 30 novembre 2014 et le 11 mars 2015 à Marseille. Les PM2,5 furent quant à elles maximales le 7 février (45 µg/m³) et le 1^{er} janvier 2015.

Episodes de fin novembre 2014 :

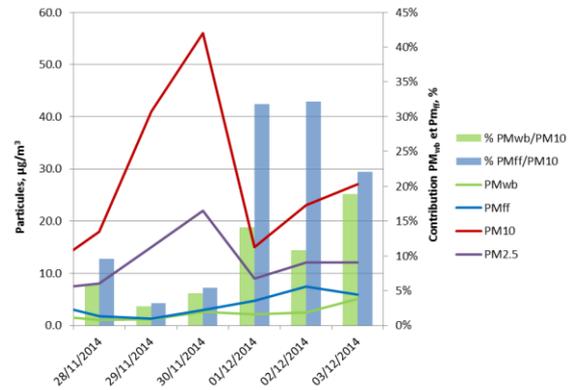
Le 24 novembre 2014, le site de Nice connaît des valeurs importantes de black carbon, tandis que les concentrations de PM10 et PM2,5 sont également élevées. Les données de l'AE33 à Marseille à la même date sont indisponibles.

Le graphique ci-contre illustre les niveaux de particules sur le site de Nice, ainsi que la contribution de PM_{wb} et PM_{ff} aux teneurs en PM10, entre le 22 et le 27 novembre 2014. Les journées du 22 et 24 novembre se distinguent par une conjugaison de niveaux de particules PM10 et de PM2,5 importants, et de maxima en black carbon, avec une contribution importante des particules issues de phénomènes de combustion, et notamment le chauffage au bois. Le 24 novembre, la somme de PM_{wb} et PM_{ff} représente 40 % des PM10 et près de 75 % des PM2,5. Il s'agit donc ici d'un épisode vraisemblablement lié à des sources locales.

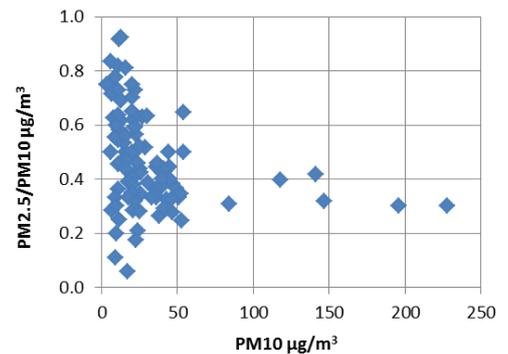


Le 30 novembre, le seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est dépassé sur le site de Nice. La situation est cette fois-ci très différente. Il apparaît clairement que le pic de PM10 et PM2,5 du 30 novembre n'est pas du tout lié à des émissions de particules provenant de la combustion de biomasse ou du trafic (5 % chacun). Si les phénomènes de combustion représentent 25 % des PM2,5, les particules provenant de ces sources ne contribuent que pour 10 % des PM10.

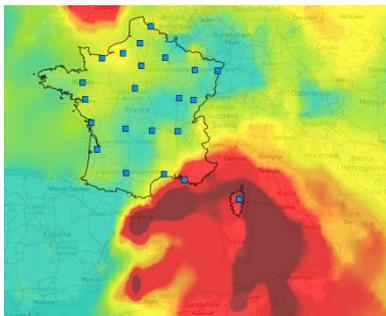
L'augmentation des PM10, qui n'est pas liée à une hausse des PM2,5 de même ampleur, est la signature d'un épisode de particules d'origine naturelle.



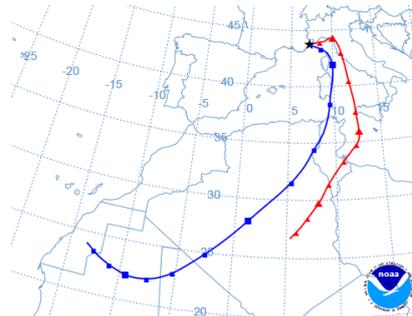
Ce rapport PM2,5/PM10 donne des indications sur la nature des particules. Tandis qu'en milieu urbain, il est de l'ordre de 0,6 à 0,7, il est plus proche de 0,4 lorsque les apports « naturels » sont plus importants. Le graphique ci-après présente le ratio PM2,5/PM10 en fonction des concentrations de PM10, en moyenne horaire, du 27 novembre au 1^{er} décembre. Il montre que lorsque les concentrations de PM10 sont les plus élevées, le ratio PM2,5/PM10 est de l'ordre de 0,4, ce qui plaide en faveur d'une source naturelle. Du reste, lors du pic du 30 novembre en soirée, l'AE33 permet d'attribuer une contribution des processus de combustion de l'ordre de 4 % des PM10.



En effet, cette période correspond à des entrées de particules désertiques sur le territoire régional, comme le mettent en lumière les illustrations suivantes :



Cartographie PREV'AIR des PM10 sur la zone



Rétrotrajectoires de la masse d'air à 500 et 1500 mètres

La Corse a également été très touchée par ce phénomène de très grande ampleur.

Les données de PM10 à Ajaccio (Corse) ont d'ailleurs dépassé $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 24 heures.

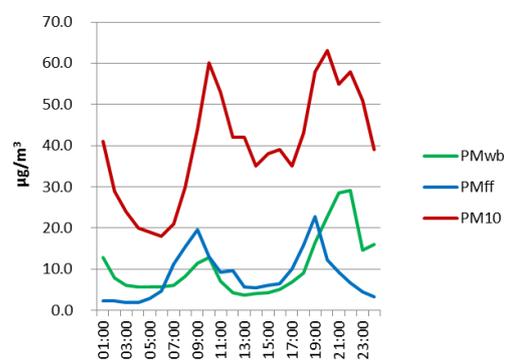
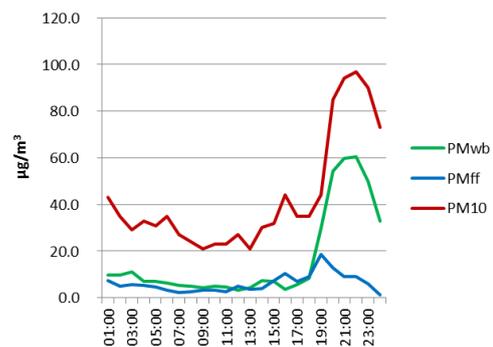
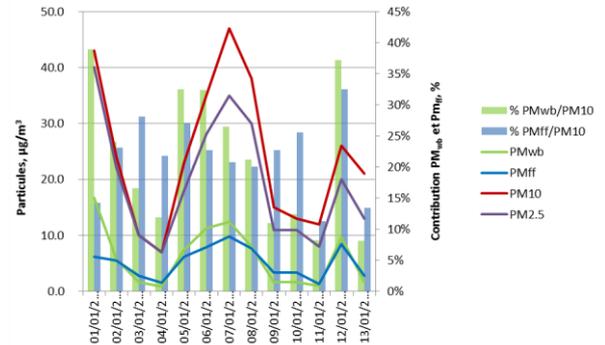
Episodes hivernaux de janvier 2015

Sur le site de Marseille, des teneurs importantes de PM10 et PM2,5 sont relevées les 1^{er} et 7 janvier 2015. A ces mêmes dates sont enregistrées des valeurs de PM_{wb} parmi les plus fortes. Cette période de l'année est marquée par une situation météorologique peu favorable à la dispersion atmosphérique.

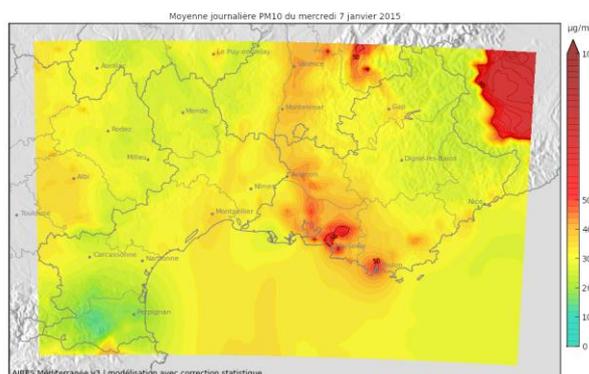
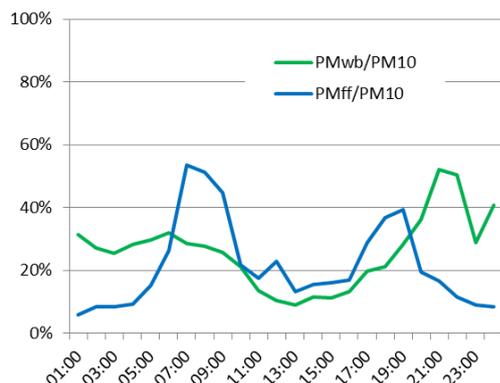
- Le 1^{er} janvier, la contribution du chauffage au bois atteint 39 % de la concentration PM10, en moyenne sur la journée, contre seulement 14 % pour le trafic.

Le profil journalier des PM10, PM_{wb} et PM_{ff} ce même jour met en lumière une nette augmentation des teneurs de particules en début de soirée, liées à la combustion du bois, le PM_{wb} pouvant représenter en valeurs horaires jusqu'à près de 70 % des PM10. Les températures nocturnes relevées à cette période sont d'ailleurs négatives. La contribution du trafic est beaucoup plus modeste et ne présente pas de forte évolution dans la journée, en lien avec des déplacements limités ce jour férié.

- Du 6 au 8 janvier, sur la zone marseillaise, les teneurs en particules PM10 - et PM2,5 dans une moindre mesure - connaissent à nouveau des valeurs soutenues. Les particules primaires provenant de la combustion de biomasse et du trafic représentent respectivement 26 % et 21 % des PM10. Le profil des concentrations enregistrées durant ces trois jours est en cohérence avec la reprise de l'activité économique.



Le graphique ci-après présente le profil journalier des contributions de PM_{wb} et PM_{ff} aux concentrations de PM_{10} , calculé entre le 6 et 8 janvier. Il montre que les parts dues au trafic et à la combustion sont variables dans la journée, en lien avec les déplacements routiers et les pratiques de chauffage.

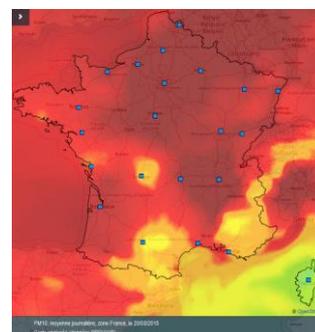


La cartographie des concentrations de PM_{10} sur la zone le 7 janvier montre que cet épisode de pollution est généralisé sur une grande partie sud de la France, du fait d'une situation météorologique établie, mais que l'ouest du territoire régional est particulièrement affecté.

Episodes printaniers de mars 2015

Les 10 et 11 mars à Marseille les concentrations moyennes journalières de PM_{10} ont atteint des niveaux importants (respectivement 49 puis 53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), avant de chuter puis de retrouver à nouveau des valeurs élevées une dizaine de jours plus tard, sur les deux sites (44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Marseille le 19 mars, 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 20 mars à Nice). Cet épisode de pollution, qui a concerné la France entière et une large partie de l'Europe, exceptionnel par son étendue géographique et par sa durée, résulte de conditions météorologiques extrêmement stables, avec peu de vent.

La cartographie ci-contre présente les valeurs journalières de PM_{10} sur la France le 20 mars. Elle montre que la région PACA est moins concernée par ce phénomène que la plupart des autres régions françaises. Ces situations de pollution particulaire printanières sont liées aux émissions anthropiques, et notamment aux activités agricoles en Europe de l'ouest au cours de cette période de l'année (du fait de l'épandage des engrais azotés). Les travaux du LCSQA montrent la part importante, de nitrate d'ammonium. Ce composé secondaire résulte de réactions chimiques entre les oxydes d'azote émis notamment par les activités de transport, et l'ammoniac, disponible dans l'atmosphère par volatilisation, en particulier lorsque les températures sont douces, suite aux épandages d'engrais.

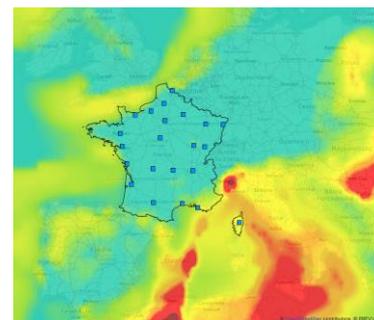


Les mesures de black carbon confirment la part relativement limitée des particules issues de phénomènes de combustion à ces épisodes printaniers : en effet, à Marseille les 10 et 11 mars les particules provenant du chauffage au bois et du trafic contribuent à elles deux à 35 % des concentrations journalières. A cette contribution locale s'ajoute donc des apports de masses d'air

chargées en provenance du nord de la France. De la même manière, la somme des PM_{wb} et PM_{ff} mesurées à Nice le 20 mars ne constitue que 16 % des concentrations de PM_{10} , et moins de 27 % des teneurs en $PM_{2,5}$, également élevées sur cette période.

Episode de mai 2015

Parmi les 10 journées avec les maxima observés à Nice en 2015, quatre jours consécutifs sont mesurés au mois de mai. En effet, du 4 au 7 mai inclus, les moyennes journalières de PM_{10} dépassent $44 \mu g/m^3$ et atteignent même $54 \mu g/m^3$ le 6 mai. Cet épisode, observé uniquement à Nice, n'a pas donné lieu au déclenchement d'une procédure d'information du fait de sa localisation très limitée. La contribution des particules issues de la combustion au bois est naturellement très faible en cette saison (de l'ordre de 3 %), mais c'est aussi le cas de celle du trafic (au maximum égale à 10 %).

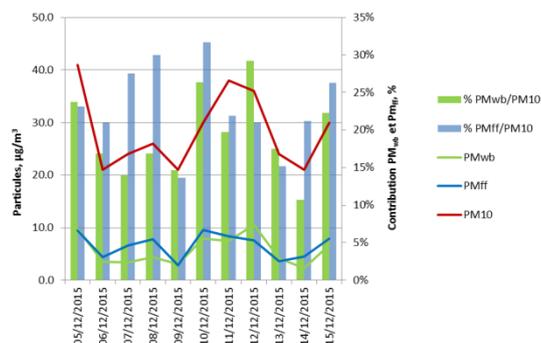


Il s'agit ici à nouveau d'un épisode de poussières désertiques, qui a également touché la Corse à la même période (voir cartographie PREV'AIR ci-dessus).

Episodes de décembre 2015

Les 11 et 12 décembre 2015, des niveaux importants de black carbon sont mesurés à Marseille et à Port-de-Bouc. Ces maxima ne sont pas liés à des pics de PM_{10} , les concentrations journalières de ces dernières étant assez élevées, mais cependant inférieures à $40 \mu g/m^3$ aux mêmes dates.

Le graphique ci-contre illustre les concentrations de particules et la contribution de PM_{wb} et PM_{ff} aux PM_{10} , sur le site de Port-de-Bouc du 5 au 15 décembre. Autour du 11 décembre, une grande partie sud de la France est concernée par une pollution particulaire, du fait de conditions météorologiques défavorables marquées par l'absence de vent et par des températures nocturnes froides. Les niveaux de black carbon sont élevés et la contribution des processus de combustion locaux (à la fois du trafic et du chauffage) est importante.

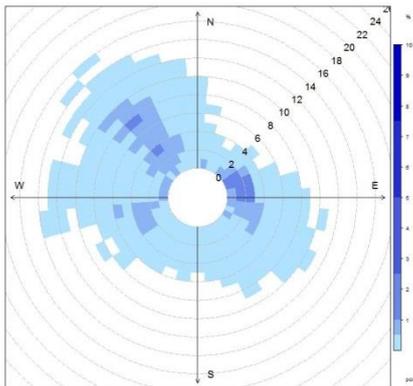


A Marseille aux mêmes dates, la situation est similaire et la combustion est très majoritairement à l'origine des niveaux de particules PM_{10} et $PM_{2,5}$. Cette situation est typique d'un épisode de pollution hivernal, avec des sources locales importantes qui se conjuguent à une météorologie favorisant l'accumulation de particules.

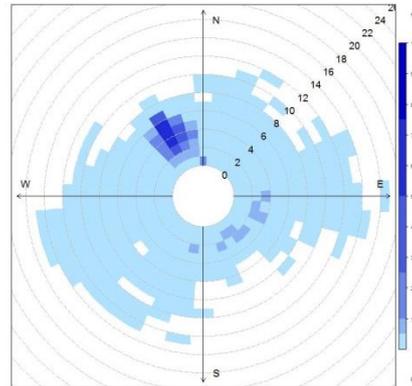
f. Roses de pollution

Des roses de pollution, qui permettent de représenter les concentrations de polluants en fonction de la direction et de la vitesse du vent, ont été établies pour les sites de Marseille et de Nice, pour l'année 2015.

Les roses des vents des deux sites en 2015 sont présentées ci-dessous.



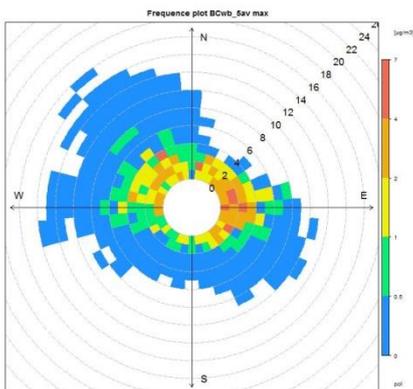
Rose des vents 2015 à Marseille



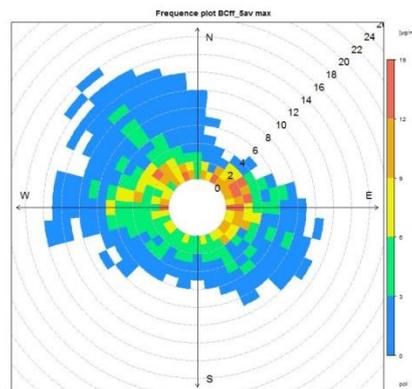
Rose des vents 2015 à Nice

A Marseille, les vents les plus fréquents sont des vents forts de nord-ouest (Mistral), et des vents d'est, de vitesse de l'ordre de 2 à 3 m/s, qui correspondent à des brises en provenance de la vallée de l'Huveaune. Sur le site de Nice, les vents les plus fréquents sont de direction nord-nord-ouest, de vitesse entre 2 et 7 m/s.

Les roses de pollution des maxima de concentrations horaires du black carbon issu de la combustion de biomasse BC_{wb} et du trafic BC_{ff} sont présentées ci-après, pour le site de Marseille.



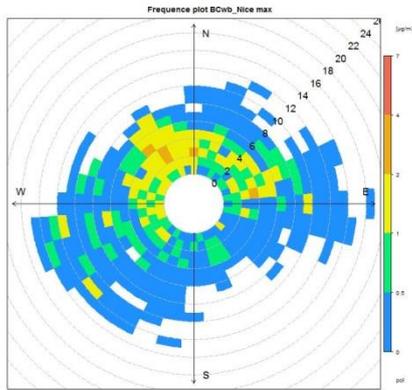
Rose du BC_{wb} à Marseille



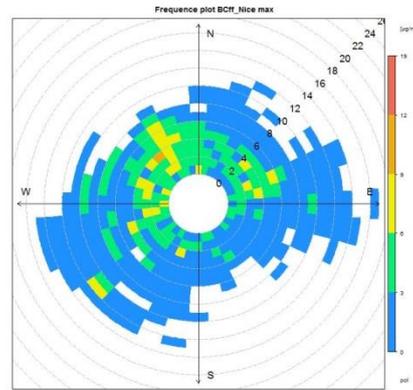
Rose du BC_{ff} à Marseille

Les concentrations les plus fortes de BC_{wb} sont observées par vent d'est faible. Il s'agit d'écoulements en provenance de la vallée de l'Huveaune, lorsque les cheminées sont allumées le soir. Par contre, lorsque des vents forts soufflent, les concentrations de BC_{wb} sont faibles. Dans le cas du BC_{ff} , les situations de vent faible, et donc de conditions peu dispersives, sont les plus pénalisantes, et ce quelle que soit la direction, puisque l'environnement de la station est influencé par la pollution liée aux véhicules.

Ces mêmes roses de pollution sont présentées ci-après, pour le site de Nice, à la même échelle.



Rose du BC_{wb} à Nice



Rose du BC_{ff} à Nice

A Nice, les concentrations maximales de BC_{wb} sont observées par vent de nord-ouest, mais les sources sont globalement moins localisées qu'à Marseille et sont liées à des brises de terre. Tandis que dans la cité phocéenne les maxima étaient observés par vent faible, ce n'est pas le cas à Nice où des concentrations importantes de BC_{wb} sont mesurées par vent supérieur à 2 m/s. Concernant le black carbon issu du trafic, la direction nord-ouest est aussi la plus pénalisante, mais des concentrations non négligeables sont rencontrées dans toutes les directions de vent, excepté lorsqu'il provient de la mer (sud-est), et y compris à des vitesses de vent supérieures à 4 m/s. Ainsi, contrairement au cas de Marseille, le black carbon issu du trafic peut augmenter en dehors des situations de congestion.

5. Conclusion

Depuis plusieurs années, l'intérêt croissant pour la surveillance des particules de très petites tailles et pour leur caractérisation chimique a conduit Air PACA à mettre en place un plan de surveillance spécifique pour les particules fines. Parmi les actions de ce plan, Air PACA s'est dotée en 2014 et 2015 de trois analyseurs de carbone suie (ou black carbon) et de deux granulomètres, permettant de caractériser le nombre et la taille des très fines particules.

Pour la mesure du black carbon, les investigations sont conduites à l'aide d'analyseurs AE33 sur trois sites de la région : Marseille, Nice et Port-de-Bouc. Ces mesures permettent d'améliorer la connaissance de la composition des particules, notamment en cas de pic de pollution.

- La comparaison des trois sites met en exergue des teneurs en black carbon plus élevées à Marseille, du fait d'un apport par le trafic plus important, en cohérence avec les caractéristiques du parc automobile.
- La contribution du chauffage au bois aux particules PM10 présente des variations saisonnières marquées. Inférieure à 15 % sur l'année, elle peut dépasser 40 % lors de certaines journées hivernales. Ainsi, même si la combustion de bois n'est pas nécessairement le mode de chauffage principal dans les zones étudiées, son impact sur la qualité de l'air n'est pas négligeable. La contribution du trafic est quant à elle moins variable d'une saison à l'autre.
- Les profils journaliers des concentrations de black carbon provenant du trafic routier montrent, à l'instar d'autres polluants tels que les oxydes d'azote, deux pics liés aux trajets domicile-travail. Le black carbon issu de la combustion de biomasse présente un pic du soir nettement plus marqué, en liaison avec la remise en route des dispositifs de chauffage.
- Les mesures de black carbon ont permis de montrer que les situations de pollution peuvent être diverses :
 - typiquement hivernales, avec une contribution des processus de combustion majoritaire,
 - soumises à des apports de particules secondaires en lien avec des épisodes printaniers généralisés,
 - des situations relativement fréquentes, à Nice, d'arrivée de particules désertiques en provenance d'Afrique du Nord, entraînant des niveaux de PM10 non négligeables.

Il faut garder à l'esprit que la mesure du black carbon permet d'estimer la contribution directe du trafic en sortie de pot d'échappement, sans prendre en compte ni les processus d'abrasion des freins ou des pneus, ni les particules secondaires créées à partir de précurseurs gazeux, eux-mêmes issus du trafic routier.