

Note technique

Travaux financés par le ministère chargé de l'environnement

EPISODES DE POLLUTION PARTICULAIRE DE MI-JANVIER 2017

Éléments de compréhension à partir des mesures automatiques (période du 18 au 23 janvier 2017), le 24 Janvier 2017

Olivier Favez - Tanguy Amodéo (INERIS)

SYNTHESE

D'importants épisodes de pollution particulaire ont d'abord touchés la pointe nord de la France et le bassin méditerranéen (17-18 janvier), puis se sont généralisés à la quasi-totalité de la métropole à partir du 20 janvier. La présente note synthétise un ensemble de résultats disponibles au 23 janvier obtenus par des analyseurs automatiques de la composition chimique des PM implantés sur différentes stations du dispositif national. Cette note résulte notamment du travail et de la réactivité des équipes d'Atmo Nouvelle-Aquitaine, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, d'Atmo Grand-Est, d'Air Pays de la Loire, d'air PACA, d'Air Normand, d'Atmo Hauts-de-France, du SIRT/LSCE (site de recherche de l'Institut Pierre Simon Laplace, sur le plateau de Saclay, Essonne), de l'IMT Lille Douai (sur la station AERONET de Villeneuve d'Ascq, Hauts de France) et de l'INERIS.

A ce stade, ces épisodes ressemblent globalement à ceux ayant eu lieu en décembre 2016, sous l'effet de conditions météorologiques stables et froides (régime anticyclonique), et l'ensemble des résultats obtenus pour l'instant indiquent la prédominance des aérosols carbonés, en lien avec l'accumulation des émissions de combustion (chauffage résidentiel et transport routier). Toutefois, une part significative des aérosols secondaires (et en particulier de nitrate d'ammonium) témoigne également de l'influence des mécanismes de transformations physico-chimiques.

Les résultats présentés ici sont issus de mesures réalisées en temps réel dont l'interprétation sera consolidée par des analyses chimiques en différé. A noter enfin que ces résultats sont représentatifs de stations de fond (péri-)urbain. Par conséquent, ils ne correspondent pas aux endroits où sont enregistrés les maxima de concentrations, en particulier sur les stations de proximité automobile.

1. INTRODUCTION

De fortes concentrations de PM_{10} , pouvant entraîner des dépassements de la valeur limite journalière, sont régulièrement observées entre mi-novembre et mi-avril du fait de la conjonction entre les activités anthropiques (chauffage, transport, agriculture) et l'occurrence de conditions météorologiques favorables à l'accumulation et/ou à la transformation des polluants atmosphériques. Les événements de début d'hiver se développent lors de situations météorologiques stables et froides (régime anticyclonique), propices à une forte utilisation du chauffage domestique et à l'accumulation de l'ensemble des émissions primaires (dont le transport routier), entraînant une forte teneur en matière carbonée au sein des particules.^{1,2}

Le dispositif national de surveillance de la qualité de l'air (MEEM, LCSQA et AASQA) s'est doté depuis 2008 d'un programme d'amélioration des connaissances de la composition chimique et des sources de particules (« programme CARA »). Reposant initialement sur l'analyse différée de prélèvements sur filtres, ce programme s'enrichit aujourd'hui de mesures en temps réel en collaboration avec les AASQA et des équipes de recherche.¹

Comme illustré par la Figure 1, depuis le 20 janvier, la quasi-totalité des régions de métropole connaissent des niveaux de PM_{10} dépassant les seuils d'information ($50\mu g/m^3$) voire d'alerte ($80\mu g/m^3$). Ces fortes concentrations ont d'abord été observées dans la pointe Nord et dans le Sud-Est de la France, avant de se généraliser à l'ensemble du territoire, en particulier dans les zones urbaines.

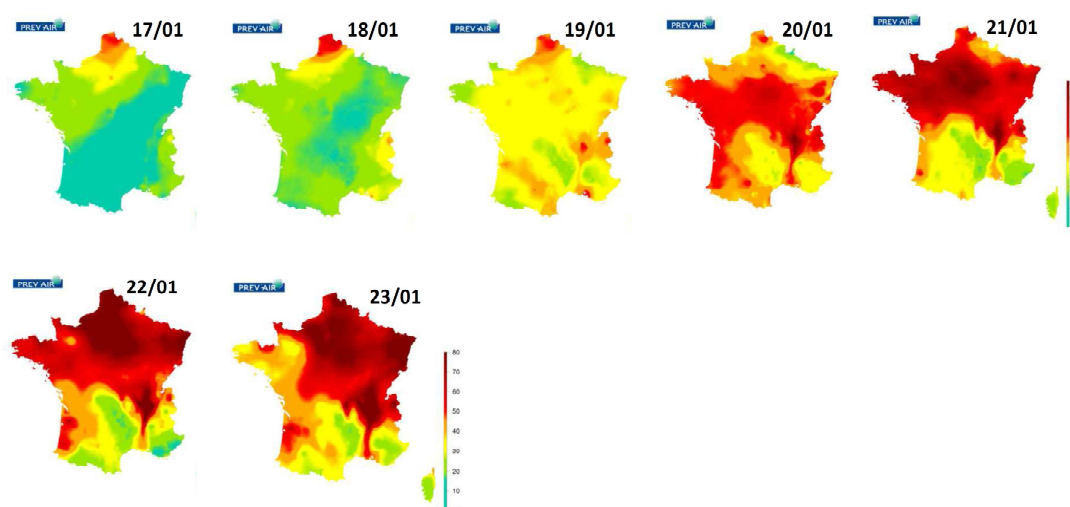


Figure 1: Cartes PREV'AIR analysées des moyennes journalières PM_{10} du 17 au 22 janvier 2017 (simulations Chimère dans lesquelles les données d'observation sont assimilées)

La présente note permet de réaliser un point d'étape sur ces épisodes de pollution à partir des mesures automatiques de composition chimique disponibles le 23 janvier 2017 (sur la base de données nationale Geod'Air ou transmises directement par les opérateurs de stations).

¹ Note LCSQA 2014: <http://www.lcsqa.org/rapport/2014/ineris/description-programme-cara-dispositif-national-surveillance-qualite-air>.

² Note LCSQA 2015: <http://www.lcsqa.org/rapport/2015/ineris/elements-comprehension-episodes-pollution-particuliere-fin-decembre-2014-debut-j>

2. MESURES EN TEMPS REEL DES ESPECES CHIMIQUES MAJEURES DES PARTICULES FINES

PM₁₀, granulométrie, origines, et compositions chimiques

Les PM₁₀ représentent la concentration massique des particules atmosphériques de diamètre aérodynamique inférieur à 10µm. Elles sont essentiellement constituées de deux modes : le mode fin et le mode grossier, dont la frontière granulométrique se situe vers 2.5µm. Ces deux modes ont des origines et donc des compositions chimiques différentes^{3,4}.

Le mode fin est principalement constitué des émissions anthropiques ainsi que d'aérosols secondaires provenant de l'oxydation et/ou de la condensation de précurseurs gazeux (COVs, NO_x, SO₂, NH₃, ...) en phase particulaire. Il contient très majoritairement :

- du carbone suie (ou *Black Carbon*), issu de la combustion incomplète d'énergies fossiles ou de biomasse, et constitué quasi-exclusivement d'atomes de carbone,
- de la matière organique (contenant des atomes de carbone, mais également de l'oxygène, hydrogène, azote, ...) primaire, i.e., émis directement dans l'atmosphère (en particulier par les mêmes processus de combustion que pour le carbone suie) ou secondaire, i.e. provenant de l'oxydation de COVs émis par les activités humaines et par la végétation,
- et des espèces inorganiques secondaires (en particulier le nitrate d'ammonium et le sulfate d'ammonium).

Le mode grossier est principalement constitué de particules d'origines naturelles : sels de mer, poussières terrigènes, débris végétaux, etc Il contient également des espèces secondaires (dont nitrate, sulfate et composés organiques, provenant de réactions acido-basiques entre espèces gazeuses et particules minérales).

En milieu urbain, le mode fin constitue la part majeure (50-90%) des PM₁₀.

Dispositif de mesure en temps réel

Les instruments de mesure mis en œuvre au cours de ces dernières années au sein du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air permettent le suivi des espèces chimiques majeures de ce mode fin (et donc des principales influences anthropiques). Ils sont de 2 types :

- L'Aethalomètre multi-longueurs d'onde **AE33**, permettant la surveillance du *Black Carbon* (BC) en tant qu'indicateur des émissions primaires de combustion.
- L'*Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM)*, basé sur la spectrométrie de masse et la quantification des espèces non-réfractaires (i.e., volatile à 600°C) au sein des PM₁. Ces espèces chimiques correspondent principalement au nitrate, au sulfate, à l'ammonium et à la matière organique.

Ces mesures sont réalisées par les AASQA volontaires ou le LCSQA (INERIS et IMT Lille-Douai) sur des sites de fond urbain ou péri-urbain. A noter que le SIRTa, situé sur le plateau de Saclay (78), fait partie de l'infrastructure européenne de recherche ACTRIS. Les mesures de composition chimique des particules y sont réalisées en continu depuis 2011 en collaboration entre le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) et l'INERIS. Ce site est représentatif du fond régional urbanisé en Ile de France, mais ne reflète pas totalement les niveaux de concentrations (en particulier des émissions primaires) pouvant être atteints au sein de l'agglomération parisienne.

³ Rapport LCSQA 2011: <http://www.lcsqa.org/rapport/2011/ineris-air-normand-lsce/note-suivi-composition-chimique-journaliere-pm25-pm10-station-p>

⁴ Note LCSQA 2011 : <http://www.lcsqa.org/rapport/2011/ineris/note-methodologies-determination-composition-chimique-particules-submicroniques->

Comme illustré par la Figure 2 pour une sélection de stations de fond (péri-)urbain du dispositif national, le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ varie significativement selon le jour et la localisation des mesures. On constate que l'augmentation des concentrations de PM_{10} s'accompagne globalement d'une augmentation du rôle joué par les particules les plus fines, excluant une influence majeure à l'échelle nationale d'intrusions de poussières désertiques ou volcaniques.

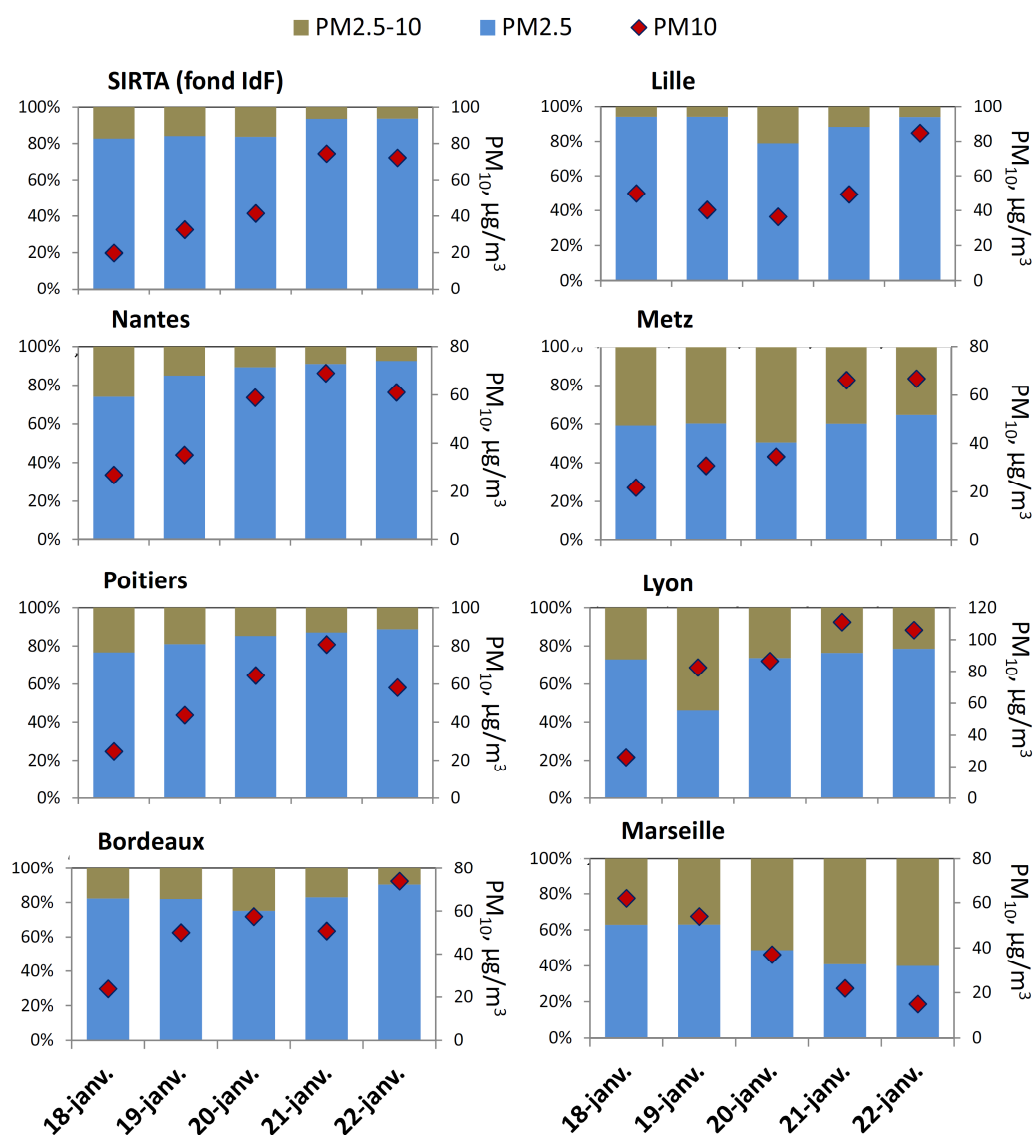


Figure 2 : Moyennes journalières des PM_{10} et des contributions de leurs fractions fines ($PM_{2.5}$) et grossières ($PM_{2.5-10}$) sur une sélection de stations de fond (péri-)urbain du dispositif national

La Figure 3 présente les données ACSM et AE33 disponibles au 23 janvier 2017 pour 6 sites de fond (péri-)urbain : Villeneuve d'Ascq, Saclay (Sirta), Metz, Poitiers, Lyon, et Bordeaux.

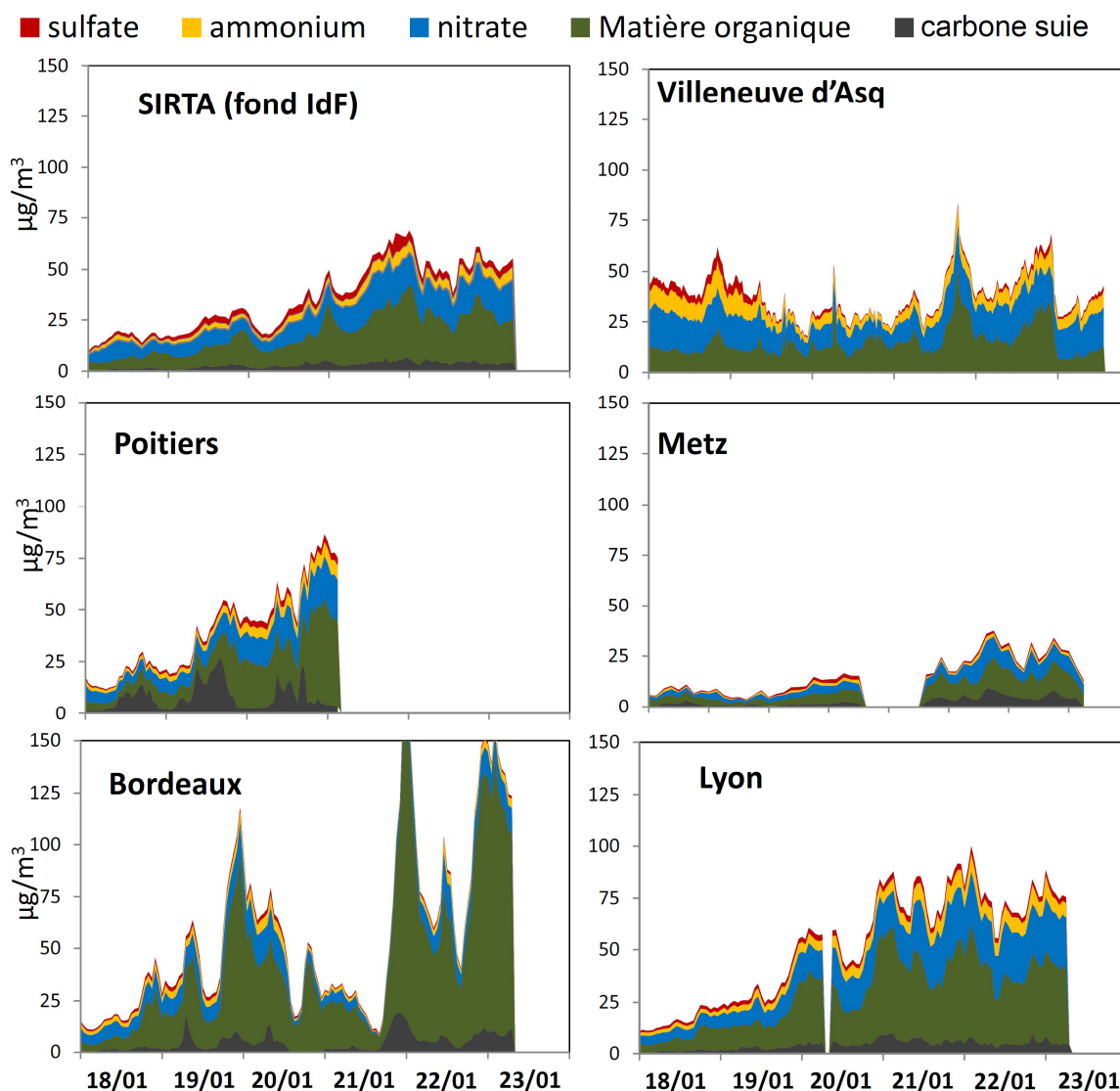


Figure 3: variations temporelles des espèces chimiques majeures des particules fines sur 6 sites de fond (péri-)urbain. Mesures ACSM et AE33. (Courbes empilées).

On note tout d'abord de fortes différences des niveaux de concentrations entre les stations (e.g., quasiment un facteur 2 entre Metz et Lyon). Parmi les différentes espèces chimiques mesurées, **les aérosols carbonés, et en particulier la matière organique, sont majoritaires dans les particules fines : 50% (plateau de Saclay) à plus de 75% (Bordeaux).**

Cela suggère une **influence significative des processus locaux sur les concentrations mesurées au niveau de chaque station.**

Les très fortes concentrations et contributions de particules carbonées à Bordeaux sont à relier en premier lieu au rôle majeur joué par le chauffage résidentiel au bois sur la qualité de l'air au sein de cette agglomération.⁵

Sur les 5 autres sites documentés ici, on constate également **une forte influence des aérosols inorganiques secondaires, et en particulier du nitrate (d'ammonium),** de manière plus marquée que lors des épisodes de décembre 2016. Cette observation est à mettre en

⁵ Note LCSQA 2015 : <http://www.lcsqa.org/rapport/2015/ineris/impact-combustion-biomasse-concentrations-pm10-programme-cara-hiver-2014-2015>

relation avec les conditions météorologiques favorisant les processus de transformations photochimiques, permettant notamment l'oxydation des NO_x en radicaux nitrates. Ces derniers se combinent ensuite avec l'ammoniac, dont les principales sources d'émission à cette période de l'année restent à investiguer.

A ce stade de développement, ces épisodes semblent **fortement influencés par l'accumulation des polluants à grande échelle**. Ils présentent des caractéristiques globalement similaires à celles des épisodes de pollution de décembre 2016⁶ **avec néanmoins une (plus) forte contribution des aérosols secondaires issus des transformations chimiques** (notamment dans le Nord, le bassin parisien et la zone Rhône-Alpes).

3. INFLUENCE DES EMISSIONS PRIMAIRES DE COMBUSTION

Black Carbon, biomasse et hydrocarbures

L'AE33 permet de distinguer deux fractions du Black Carbon que l'on peut relier à la combustion d'hydrocarbures (BC_{ff}) et à la combustion de biomasse (BC_{wb}). 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 PM₁₀ attribuables aux deux familles de sources (notées respectivement PM_{ff} et PM_{wb}), telles que :

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

$$\text{Et } PM_{wb} = b \times BC_{wb}$$

où PM_{ff} et PM_{wb} représentent la concentration massique de particules PM₁₀ issues respectivement de la combustion d'hydrocarbures et de la combustion de biomasse. Outre le BC, PM_{ff} et PM_{wb} sont constituées 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 LCSQA précédentes pour la contribution biomasse.⁷

Les émissions primaires à l'échappement automobile sont comprises au sein de la fraction liée à la combustion d'hydrocarbures (PM_{ff}), mais ces estimations n'intègrent pas les émissions hors-échappement, i.e., particules issues de l'abrasion de la chaussée, des pneus, des freins, Ces estimations ne tiennent pas non plus compte de l'influence de l'échappement automobile sur la formation d'aérosols secondaires à partir des émissions de précurseurs gazeux (i.e., NO_x, issus à 60% du transport au niveau national), dont l'influence sur les PM₁₀ est impossible à évaluer à partir de mesures en temps réel.

Comme présenté par la Figure 3, l'analyse des données AE33 indique un **impact important des émissions primaires de combustion sur les niveaux élevés de PM₁₀ enregistrés à partir du 20 janvier**. Selon les sites étudiés, les combustions d'hydrocarbures et de biomasse représentent alors entre 40% et 85% des PM₁₀, avec **une prépondérance des émissions liées à la combustion de biomasse (PM_{wb})**.

⁶ Note LCSQA 2016 : <http://www.lcsqa.org/rapport/2016/ineris/episodes-pollution-particulaire-debut-decembre-2016-elements-comprehension-par-0>

⁷ Rapport LCSQA 2015 : <http://www.lcsqa.org/rapport/2015/ineris/programme-cara-bilan-travaux-2014-2015>

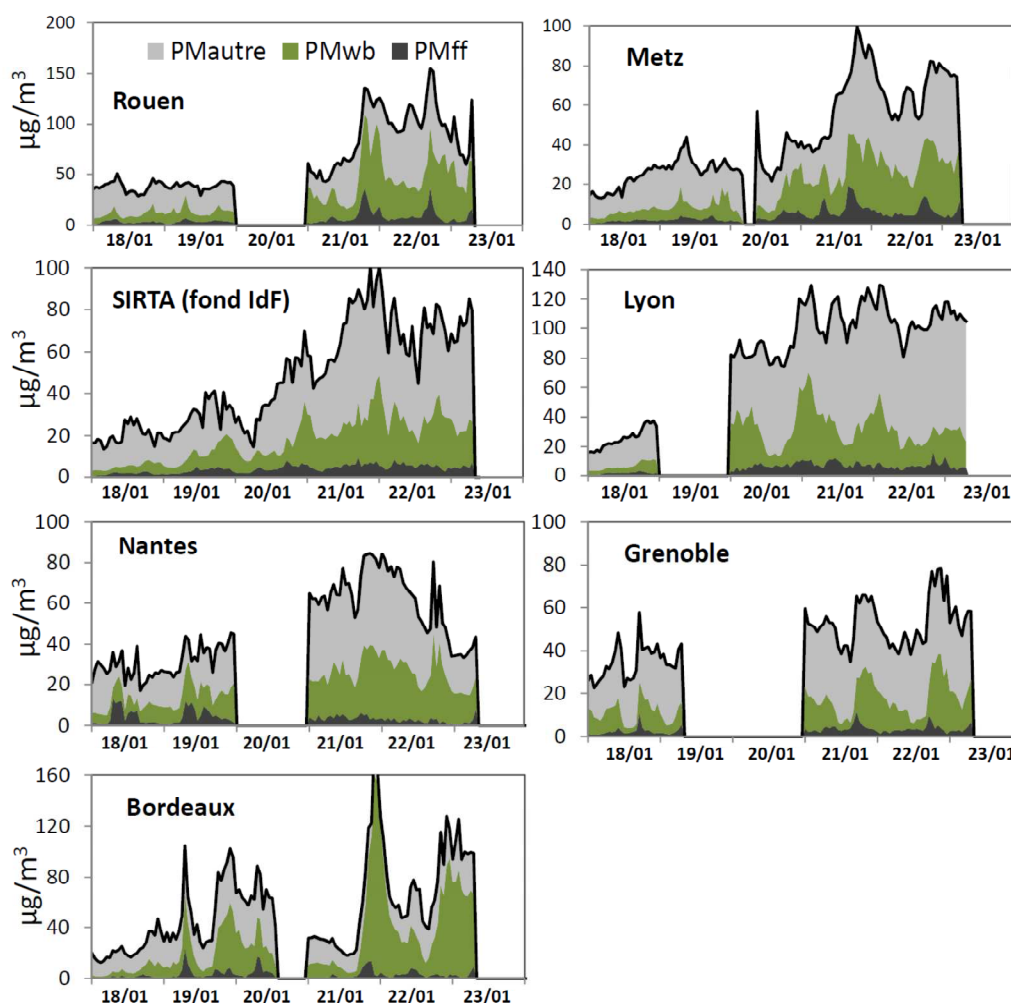


Figure 4 : suivi temporel des concentrations PM_{10} et estimations des fractions issues des émissions primaires liées à la combustion d'hydrocarbures (PM_{ff}) et de biomasse (PM_{wb}) sur différents sites de fond (péri-)urbain. (Courbes empilées).

L'impact significatif des émissions locales sur les niveaux de PM_{10} est confirmé par les profils « en dents de scie », reflétant les périodes maximales d'émissions (pics de circulation automobile ou chauffage nocturne).

4. ESTIMATION DES PRINCIPAUX CONSTITUANTS DES PM_{10}

Règles appliquées pour l'estimation

L'objectif ici est d'estimer la composition des PM_{10} à partir des mesures ACSM et AE33. On évalue d'abord PM_{ff} et PM_{wb} à partir des résultats AE33, comme indiqué précédemment. On reconstruit ensuite les concentrations de nitrate d'ammonium et de sulfate d'ammonium à partir des mesures ACSM de nitrate, de sulfate et d'ammonium et en respectant la stœchiométrie moléculaire. Puis, en considérant que la majeure partie du sulfate d'ammonium, du nitrate d'ammonium et des aérosols organiques secondaires est essentiellement présente au sein de la fraction $PM_{2.5}$, il est possible d'extrapoler les données ACSM (en PM_1) pour déduire une concentration de ces dernières espèces dans la fraction PM_{10} . Pour ce faire, on multiplie les concentrations obtenues par l'ACSM par le ratio $PM_{2.5}/PM_1$. Les concentrations de nitrate d'ammonium et de sulfate d'ammonium dans la fraction PM_{10} sont alors considérées comme égales aux concentrations mesurées par l'ACSM corrigées de ce ratio. Les aérosols organiques secondaires (AOS), quant-à eux, peuvent être estimés par différence

entre la matière organique totale issue des données ACSM corrigée par ce même ratio et l'estimation des contributions organiques primaires à partir des mesures AE33.

Les résultats obtenus en appliquant cette méthodologie sur les données relatives au site du plateau de Saclay (SIRTA) sont présentés pour exemple sur la Figure 5.

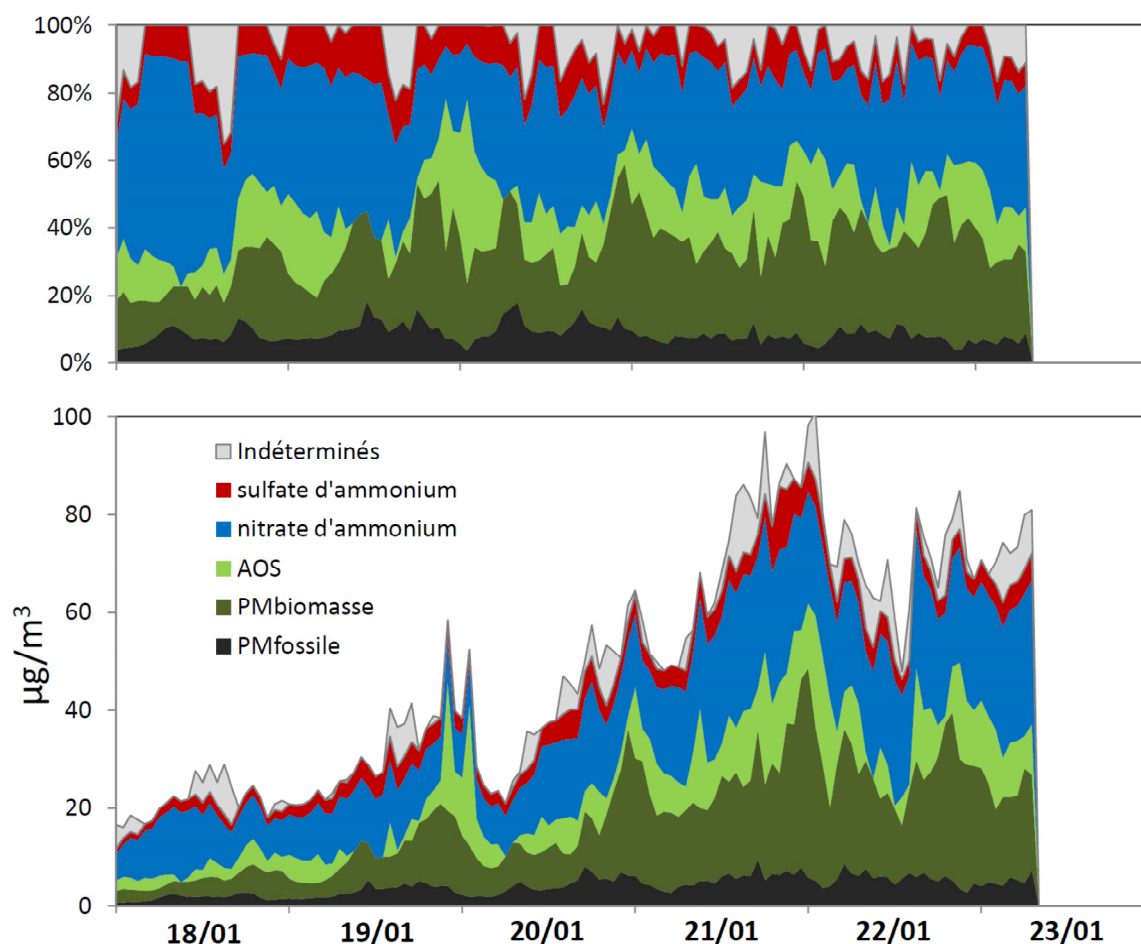


Figure 5: suivi temporel des concentrations PM_{10} et résultats issus de l'estimation des concentrations de PM_{ff} ($\text{PM}_{\text{fossile}}$), PM_{wb} ($\text{PM}_{\text{biomasse}}$), AOS, nitrate d'ammonium et sulfate d'ammonium au SIRTA (courbes empilées)

Cette représentation permet de compléter les interprétations précédentes, en mettant en évidence **une contribution significative d'aérosols organiques secondaires** (15% des PM_{10} en moyenne à partir du 20 janvier), ainsi qu'une faible influence des espèces chimiques indéterminées (dont les sels de mer et les poussières terrigènes, qui ne peuvent pas être quantifiées via les instruments de mesure automatique utilisés aujourd'hui au sein du dispositif CARA).