

NOTE DU LCSQA - Métrologie des particules

Suivi de la composition chimique journalière des PM_{2.5} et PM₁₀ sur la station *Petit Quevilly* (agglomération de Rouen) d'Air Normand entre octobre 2010 et octobre 2011.

O. FAVEZ (LCSQA/INERIS), S. LEMEUR (Air Normand), J.-E. PETIT (INERIS et LSCE)

CONTEXTE

La présente étude, réalisée en partenariat avec Air Normand et le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), a été initiée en 2010, avec pour principal objectif initial l'élaboration d'une base de données détaillée permettant la réalisation d'exercices de comparaisons mesures/modèles sur le long terme au niveau d'un site de fond urbain du territoire national. Elle est basée sur la caractérisation chimique d'échantillons journaliers de PM_{2.5} et PM₁₀ prélevés en continu sur la station *Petit Quevilly* de l'agglomération Rouennaise. Un premier rapport d'étape, relatif aux résultats obtenus pour la période comprise entre avril et septembre 2010, est disponible sur le site web du LCSQA¹. L'analyse de cette période estivale, peu propice au développement d'épisodes de pollution particulaire, a permis de confirmer la tendance des modèles prévisionnistes opérationnels (dans le cas présent : modèle CHIMERE utilisé au sein du système PREV'AIR, www.prevoir.org) à la sous-estimation de la fraction organique, partiellement compensée par la surestimation globale des espèces inorganiques secondaires au sein des particules fines. Cette première analyse semblait également indiquer une surestimation de la fraction grossière par le modèle au niveau du site étudié. La présente note vise à présenter la base de données disponible à la fin de l'année 2012. En accord avec Air Normand, les prélèvements d'échantillons journaliers se poursuivront *a minima* jusqu'au printemps 2013. Néanmoins, en raison du coût et du caractère chronophage de l'analyse différée systématique de filtres journaliers ainsi que de la survenue de problèmes techniques sur les chaînes analytiques au dernier trimestre 2011 et premier trimestre 2012, seuls les filtres prélevés jusqu'au mois octobre 2011 ont pu être analysés à ce jour. Par ailleurs, la base de données correspondante n'ayant été validée qu'au cours de l'été 2012, il n'est pas possible de présenter ici des résultats de comparaisons mesures/modèles supplémentaires par rapport à ceux réalisés précédemment¹. En revanche, l'analyse de quelques traceurs organiques et métalliques non-envisagés initialement a d'ores et déjà permis d'appliquer un modèle statistique (de type PMF, pour « Positive Matrix Factorization ») visant à identifier et quantifier les principales sources responsables des niveaux de concentrations de PM₁₀ enregistrés entre octobre 2010 et octobre 2011.

¹ Caractérisation chimique des particules: comparaison modèle/mesure (B. Bessagnet, F. Meleux, O. Favez et L. Chiappini). Ref. INERIS: DRC-10-111579-01718A.

www.lcsqa.org/rapport/2010/ineris/caracterisation-chimique-particules-comparaison-modelemesure

METHODOLOGIE EXPERIMENTALE

Les échantillons journaliers de PM_{2.5} et PM₁₀ ont été obtenus à l'aide de 2 préleveurs haut-volume *Digitel* (de type DA80) installés en station climatisée et munis de filtres en fibre de quartz (*PAll Qat-Up 2500*). Contrairement aux filtres utilisés entre avril et septembre 2010 (i.e. *Whatman QMA*), ceux-ci, utilisés depuis octobre 2010, ne contiennent aucun liant, permettant dorénavant de disposer de supports de prélèvement présentant de très faibles niveaux de blancs (en particulier pour les espèces cationiques) et ainsi de pouvoir estimer avec plus de précision les concentrations en espèces inorganique primaires d'origine naturelle (sels de mer et poussières terrigènes) au sein de la fraction PM_{2.5}. Les procédures de prétraitement, et d'analyses chimiques de ces filtres sont détaillées par ailleurs¹⁻². Elles sont en accord avec celles préconisées par le Comité Européen de Normalisation CEN/TC 264. En particulier, l'analyse des espèces majoritaire : carbone élémentaire/carbone organique (EC/OC) et anions/cations sont réalisées respectivement par méthode thermo-optique et par chromatographie ionique selon les préconisations des Rapports Techniques 16243 et 16269³. Afin de compléter la base de données ainsi obtenues et de tenter d'estimer les contributions des principales sources responsables des niveaux de PM observés, il a été décidé en cours d'année 2011 de procéder à l'analyse de traceurs organiques et métalliques sur une « sous-série » de filtres, correspondant aux échantillons PM₁₀ prélevés un jour sur trois entre le 6 octobre 2010 et le 9 octobre 2011. Pour des raisons budgétaires, ces analyses supplémentaires ne concernent qu'un nombre limité de traceurs : lévoglucosan (utilisé universellement comme traceur de la combustion de biomasse) et certains métaux majeurs (Fe, Al, Ca, Cu et Pb). L'analyse de ces éléments métalliques a été réalisée par spectroscopie optique en accord avec la norme NF EN 14902³. Les mesures de lévoglucosan, pour lequel il n'existe à l'heure actuelle pas de méthodologie d'analyse normalisée, ont quant à elles été réalisées par HPLC-PAD.

En fond urbain, les PM₁₀ sont majoritairement constituées d'aérosols carbonés (carbone suie et matière organique), d'espèces inorganiques secondaires (en particulier nitrate et sulfate d'ammonium), de sels de mer et de poussières minérales⁴. Si les concentrations en nitrate, sulfate, ammonium et carbone suie sont mesurées directement par analyses chimiques, celles des autres composantes majoritaires nécessitent d'être estimées de manière plus ou moins directe. En accord avec les méthodologies usuelles pour ce genre d'étude, les concentrations en sels de mer présentées ci-dessous ont été obtenues en considérant le sodium (Na⁺) comme un bon traceur de cette composante particulière, après vérification que le rapport Mg²⁺/Na⁺ mesuré sur filtre est proche de celui de l'eau de mer, en calculant les contributions de cette composante aux concentrations en K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ et SO₄²⁻ à l'aide de leur rapport à Na⁺ dans l'eau de mer, et en considérant que les concentrations en chlore mesurées sont d'origine marine, dans la limite du rapport Cl⁻/Na⁺ de l'eau de mer (plutôt qu'en appliquant un facteur de conversion constant pour cette espèce, susceptible de se volatiliser lors du transport des masses d'air). De même, les concentrations en poussières terrigènes ont été estimées en appliquant un facteur de conversion (choisi ici comme égal à 8) aux concentrations de calcium non marin (nssCa²⁺), calculées par différence entre le calcium total et le calcium marin.

² Caractérisation chimique des particules: aspects techniques et métrologiques (S. Verlhac et L. Chiappini). Ref. INERIS: DRC-10-103334-01095A. <http://www.lcsqa.org/rapport/2009/ineris/caracterisation-chimique-particules-aspects-techniques-metrologiques>

³ Disponibles auprès de l'AFNOR.

⁴ Putaud J.-P., Van Dingenen R., Alastuey A. et al.: A European aerosol phenomenology-3: physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across Europe, *Atmospheric Environment*, 44, 1308-1320, 2010.

Enfin, les concentrations en matière organique (OM) ont été estimées en multipliant les quantités de carbone organique mesurées (OC) par un facteur de 1,6 pour les $PM_{2.5}$ et de 1,8 pour les PM_{10} (contenant une plus large proportion de matière organique primaire, plus riche en hétéroatomes que l'aérosol organique de combustion majoritairement présent au sein des fractions particulières les plus fines).

FERMETURES CHIMIQUES

Dans le cadre du programme CARA, un exercice de « fermeture chimique » est systématiquement réalisé pour chaque série de filtres analysés. Cet exercice consiste à comparer la somme des masses de chacune des composantes chimiques principales mesurées (ou estimées) à la masse totale de PM_x mesurée de façon indépendante (dans le cas présent, par TEOM-FDMS). Il est à noter que cet exercice est affecté par cinq sources d'incertitude principales :

- 1- L'incertitude sur la masse totale mesurée par TEOM-FDMS.
- 2- L'incertitude liée aux hypothèses d'estimation des concentrations de poussières terrigènes.
- 3- L'incertitude liée aux hypothèses d'estimation des concentrations en sels de mer.
- 4- L'incertitude sur le facteur de conversion OC-OM.
- 5- La quantité d'eau sur l'aérosol, non prise en compte par les analyses chimiques, mais pouvant être incluses pour partie dans la mesure de masse totale de PM_x .

Les résultats de ce type de fermeture chimique réalisée indépendamment pour les fractions $PM_{2.5}$ et PM_{10} échantillonnées entre octobre 2010 et octobre 2011 sur la station *Petit Quevilly* sont synthétisés par la figure 1.

On constate une (très) bonne corrélation entre la somme des espèces majoritaires calculées/estimées par analyses chimiques et les concentrations journalières mesurées par TEOM-FDMS, avec néanmoins une sous-estimation significative (de l'ordre de 20%) pour les $PM_{2.5}$ « recalculées » (par addition des espèces chimiques directement mesurées ou estimées). Parmi les sources d'incertitude mentionnées ci-dessus, il est probable que la non-prise en compte des concentrations en eau par analyses chimiques explique une part prépondérante de cette sous-estimation. En effet, cette dernière fraction présente des contributions relatives en composés secondaires hydrophiles (dont nitrate et sulfate d'ammonium) plus importantes que la fraction PM_{10} (cf. ci-dessous).

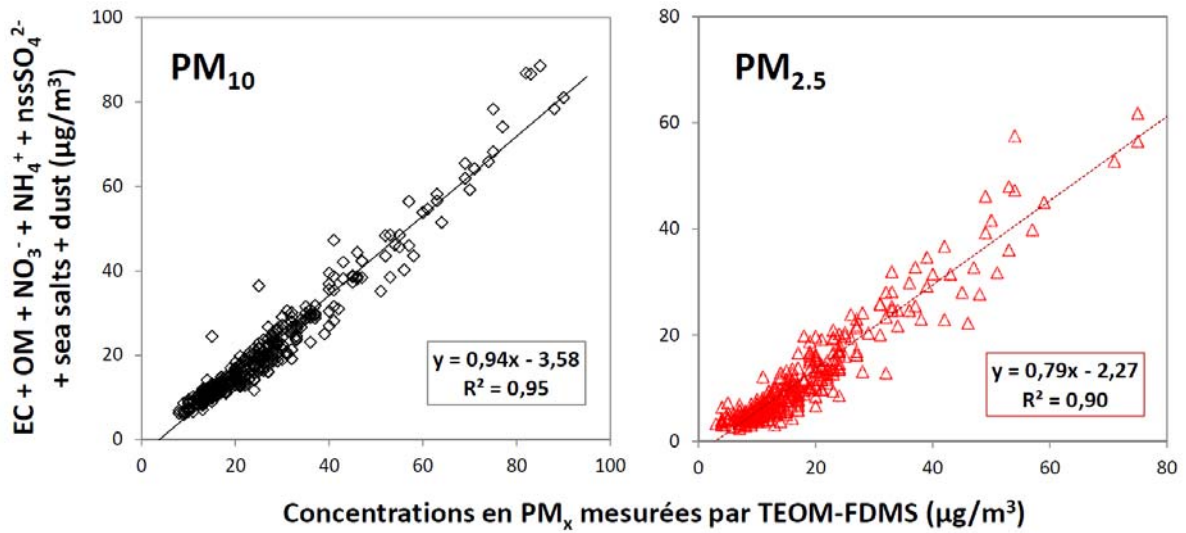


Figure 1 : Exercices de fermeture chimique des concentrations moyennes journalières en PM₁₀ et PM_{2.5} à l'aide des mesures in situ par TEOM-FDMS et des concentrations estimées pour chaque espèce majeure prélevées sur filtres.

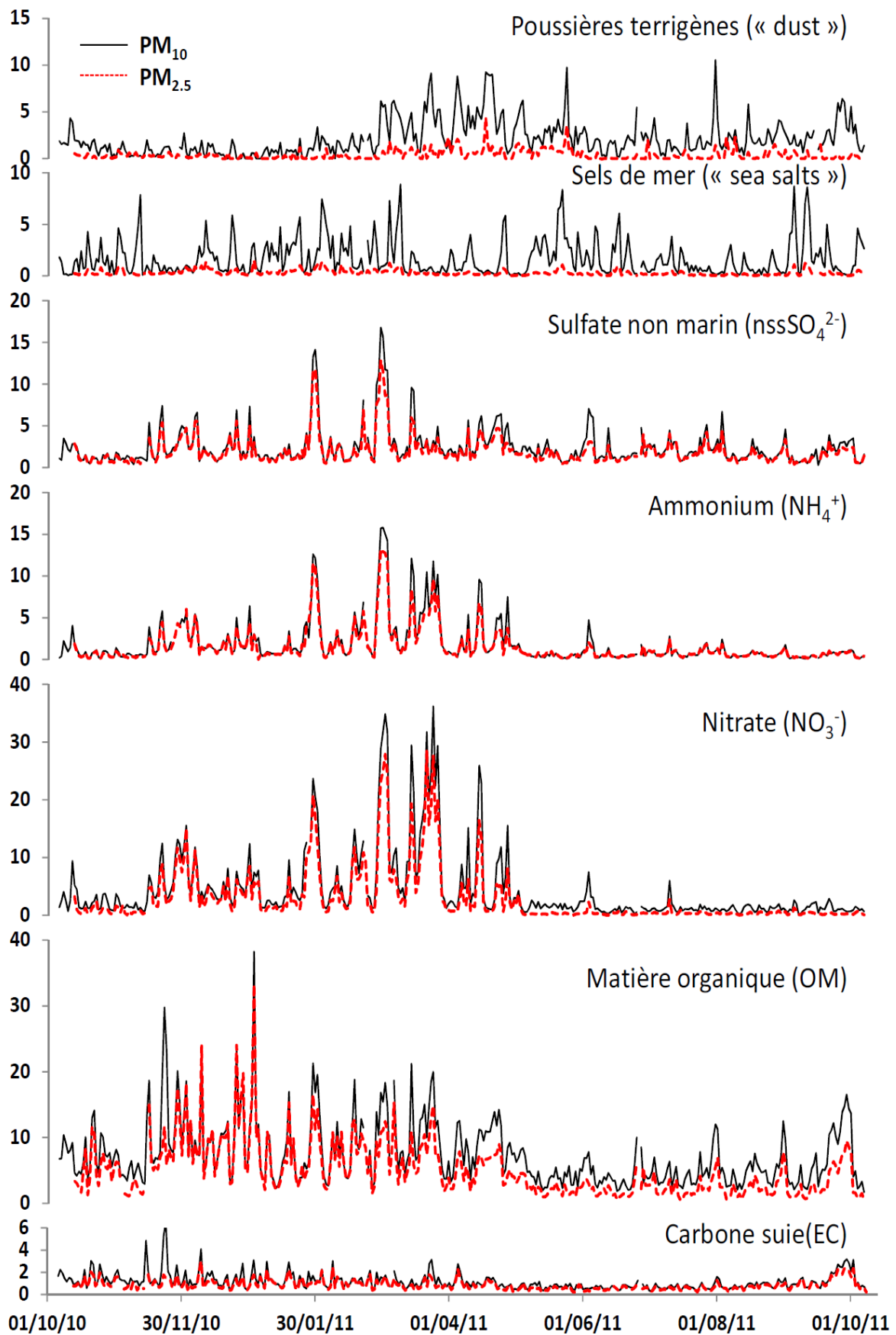


Figure 2 : variations temporelles des concentrations journalières des principales espèces chimiques au sein des PM₁₀ (en noir) et des PM_{2.5} (en rouge) sur la station Petit Quevilly entre octobre 2010 et octobre 2011.

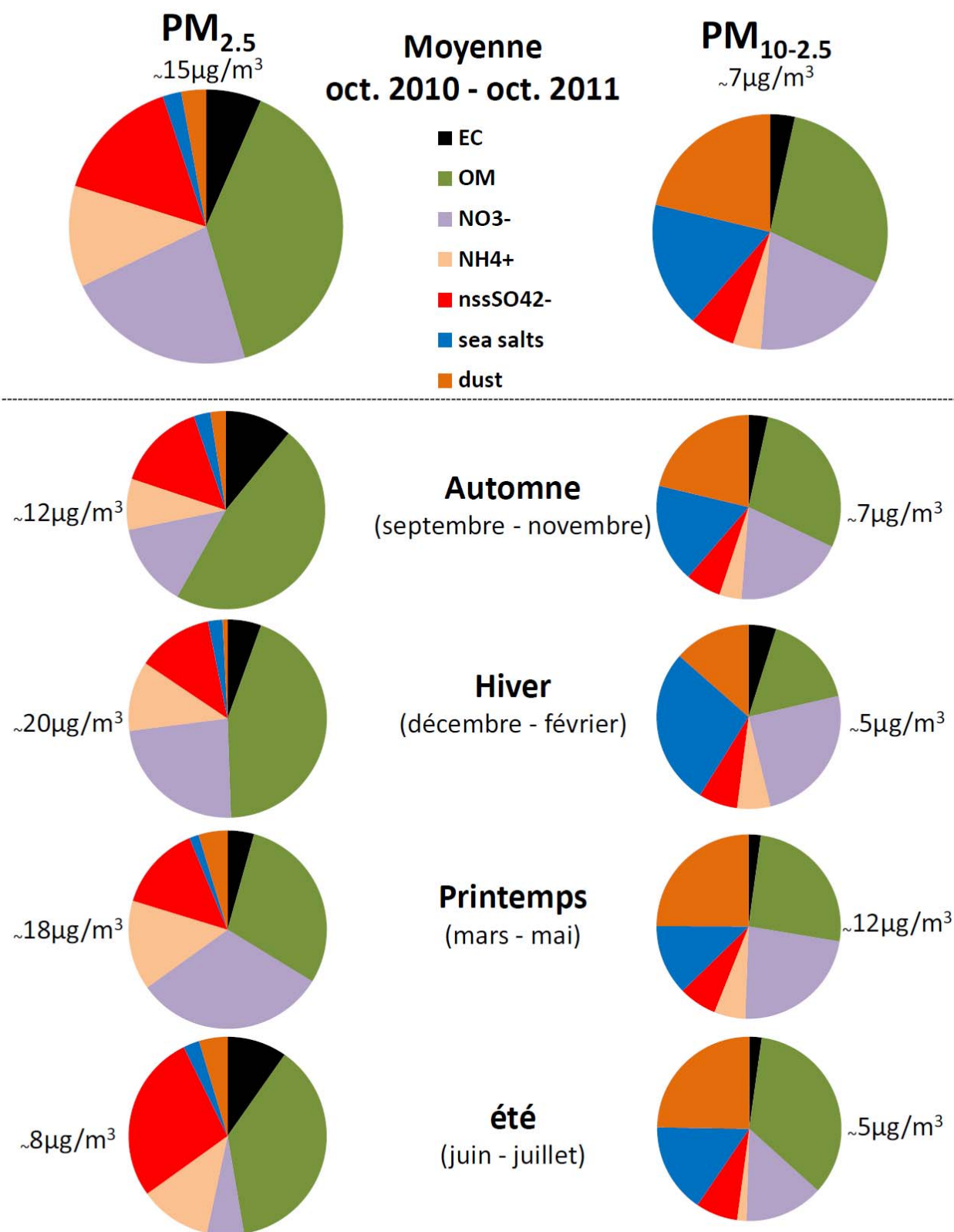


Figure 3 : Contributions relatives moyennes des principales espèces chimiques au sein des fractions fines (PM_{2.5}) et grossières (PM_{10-2.5}) prélevées sur la station Petit Quevilly entre octobre 2010 et octobre 2011.

VARIATIONS SAISONNIERES DES PRINCIPALES ESPECES CHIMIQUES

La figure 2 présente les variations temporelles des composantes majeures des PM_{10} et $PM_{2.5}$ sur le site de *Petit Quevilly* entre octobre 2010 et octobre 2011, alors que la figure 3 synthétise les contributions relatives moyennes de ces composantes pour l'ensemble de la période étudiée et par saison au sein des fractions fines ($PM_{2.5}$) et grossière ($PM_{10-2.5}$). Ces variations, très comparables à celles habituellement observées sur les sites de fond urbains européens⁴, sont brièvement discutées ci-dessous.

Particules inorganiques d'origine naturelle

Cette catégorie de particules concerne les aérosols terrigènes et les sels de mer, tous deux majoritairement présents dans la fraction grossière. Alors que les sels de mer voient leur contribution relative augmenter en hiver (principalement en raison de la diminution des concentrations des composantes d'origine naturelle), celle des poussières terrigènes est maximum au printemps et en été, en raison de conditions météorologiques plus sèches et propices à l'érosion des sols et à la remise en suspension sous l'effet du vent.

Particules carbonées

Comme illustré par la figure 2, les particules carbonées (EC et OM) voient leur concentrations augmenter significativement en hiver (au sens large: de novembre à avril), en raison notamment d'une plus forte intensité de leur sources d'émission (ex. chauffage résidentiel) mais également de l'abaissement de la hauteur de la couche de mélange atmosphérique. Ces particules carbonées sont majoritairement présentes au sein de la fraction fine en raison de leurs principaux modes d'émissions anthropiques (combustions) et de formations secondaires (conversion gaz-particules). On note néanmoins une présence significative de la matière organique au sein de la fraction grossière en été (au sens large : avril à novembre), liée à une présence plus importante dans l'atmosphère de particules primaires d'origine biologique (débris végétaux, pollens, bactéries) à cette période de l'année.

Espèces inorganiques secondaires

Cette catégorie de particules concerne principalement le sulfate d'ammonium et le nitrate d'ammonium, qui, à eux deux, représente environ la moitié des $PM_{2.5}$ en moyenne annuelle sur le site de *Petit Quevilly*. Ces espèces proviennent quasi-exclusivement de mécanismes de formations secondaires à partir de précurseurs gazeux émis notamment par les activités anthropiques (respectivement NO_x et SO_2). L'intensité des processus photochimiques en été explique le maximum de contribution relative observée pour le sulfate (d'ammonium) au cours de cette saison. Pour le nitrate, en revanche, la tendance inverse est observée en raison de la très forte volatilité du nitrate d'ammonium, pour lequel la condensation en phase particulaire est favorisée par les conditions climatiques hivernales. Les fortes concentrations de nitrate observées en fin d'hiver / début de printemps peuvent également s'expliquer par la reprise des épandages agricoles, conduisant à l'émission de précurseurs gazeux azotés dans l'atmosphère.

Comme illustré par la figure 4, sulfate et nitrate peuvent être considérés comme entièrement neutralisés par l'ammonium dans la fraction fine, alors que, dans la fraction grossière, les concentrations d'ammonium mesurées sont globalement en défaut par rapport aux concentrations de nitrate et sulfate. Ces dernières espèces peuvent par ailleurs former un revêtement de surface autour des sels marins et/ou des poussières terrigènes. Ce phénomène provient de réactions acide-base entre leurs précurseurs gazeux (en particulier HNO_3 et SO_2) et les particules minérales ou sels basiques.

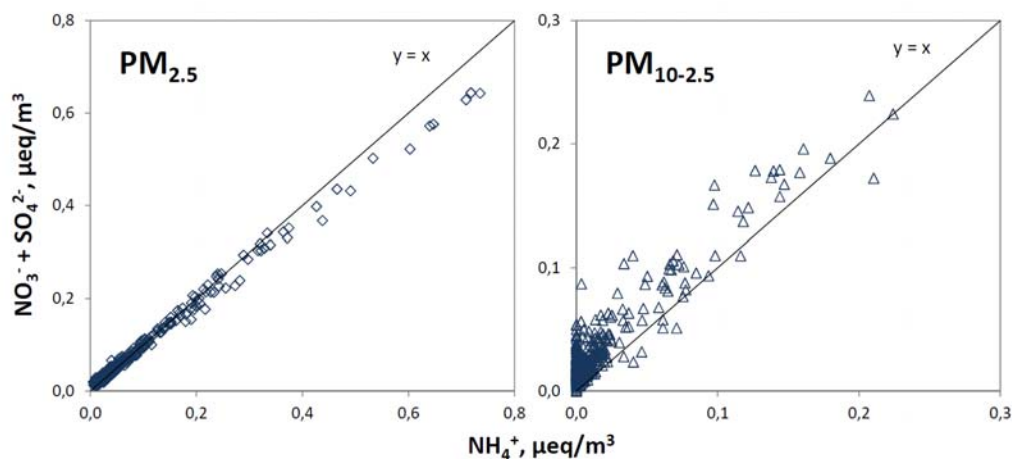


Figure 4 : Balances ioniques entre les anions nitrate et sulfate et le cation ammonium dans les fractions fines et grossières prélevées sur le site de Petit Quevilly entre oct. 2010 et oct. 2011.

ETUDE DE SOURCES

En raison de la très grande hétérogénéité des particules atmosphériques et de la complexité de leurs processus de (trans-)formation physicochimique dans l'atmosphère, l'identification des principaux responsables des niveaux de PM enregistrés sur un site récepteur nécessite l'utilisation d'outils numériques adaptés (modèles déterministes ou statistiques). Par exemple, les modèles récepteurs de type « Positive Matrix Factorization », largement utilisés par l'Agence de Protection de l'Environnement Américaine notamment (US-EPA), permettent d'estimer la contribution des principales sources de PM en un point donné à l'aide d'un *pool* de mesures chimiques (espèces majeures et traces) suffisamment large pour permettre une analyse statistique robuste, sans connaissances des sources *a priori*. La réalisation de ce type d'étude en quelques points bien choisis du territoire pourrait permettre d'améliorer à court terme notre connaissance des principales origines de PM.

Concrètement, le modèle PMF s'appuie sur une analyse factorielle des données obtenues par analyse chimique des échantillons, en permettant la résolution d'un système matriciel d'équations de type:

$$x_{i,j} = \sum_p g_{i,p} f_{p,j} + e_{i,j}$$

où :

- $x_{i,j}$ correspond à la concentration de l'espèce chimique i au temps j (matrice X)
- p représente les différents facteurs, pouvant chacun être associé *in fine* à une famille de sources ou de mécanismes de formation secondaire
- $g_{i,p}$ et $f_{p,j}$ représentent les éléments des matrices G et F , correspondant respectivement aux séries temporelles et aux concentrations chimiques, pour chaque facteur p
- et $e_{i,j}$ représente les éléments de la matrice E , correspondant aux concentrations résiduelles non modélisées correctement.

Un principe de base fondamental des modèles PMF consiste à minimiser les éléments constitutifs de cette dernière matrice E , en explorant de manière aussi exhaustive que possible l'infinité des solutions pouvant correspondre au système d'équations décrit ci-dessus. Le choix final de la solution retenue s'effectue notamment à l'aide de règles statistiques mais également au regard de la plausibilité physique des différentes solutions. Ce choix est laissé à la libre appréciation de l'opérateur, et repose ainsi sur une certaine part de subjectivité. Il est donc primordial que l'opérateur dispose d'une bonne connaissance des sources et mécanismes de transformations de particules atmosphériques pouvant affecter le site d'étude.

Dans la mesure du possible, il convient de le valider par comparaison avec des jeux de données « externes », tels par exemple que les profils temporels de paramètres météorologiques.

L'utilisation du logiciel PMF 3.0 mis à disposition par l'US EPA⁵ sur la sous-série (1 jour / 3) des prélèvements PM₁₀ journaliers à *Petit-Quevilly* entre octobre 2010 et octobre 2011 indique six grands types de sources différentes, dont les profils chimiques et contributions annuelles moyennes sont présentés sur les figures 5 et 6. Ces résultats permettent d'illustrer l'importance des émissions anthropiques sur les niveaux de PM₁₀ enregistrés au cours de l'étude. Ainsi, en moyennes annuelles, la combustion de biomasse et les activités liées à l'utilisation de combustibles fossiles peuvent être considérées comme directement responsables respectivement d'environ 13% et 30% des concentrations de PM₁₀. Il est à noter que le faible nombre de traceurs chimiques analysés ne permet malheureusement pas une bonne séparation des différentes émissions primaires anthropiques. En effet, si la combustion de biomasse a pu être clairement identifiée à l'aide de son traceur organique spécifique (lévoglucosan), la famille de sources liées à l'utilisation de combustibles fossiles présentée ici comprend aussi bien les émissions industrielles que celles liées au transport (tous types, dont transport routier et maritime). Par ailleurs, pour le transport routier, il n'a pas non plus été possible de séparer les émissions directes « à l'échappement » de celles liées à la remise en suspension de particules.

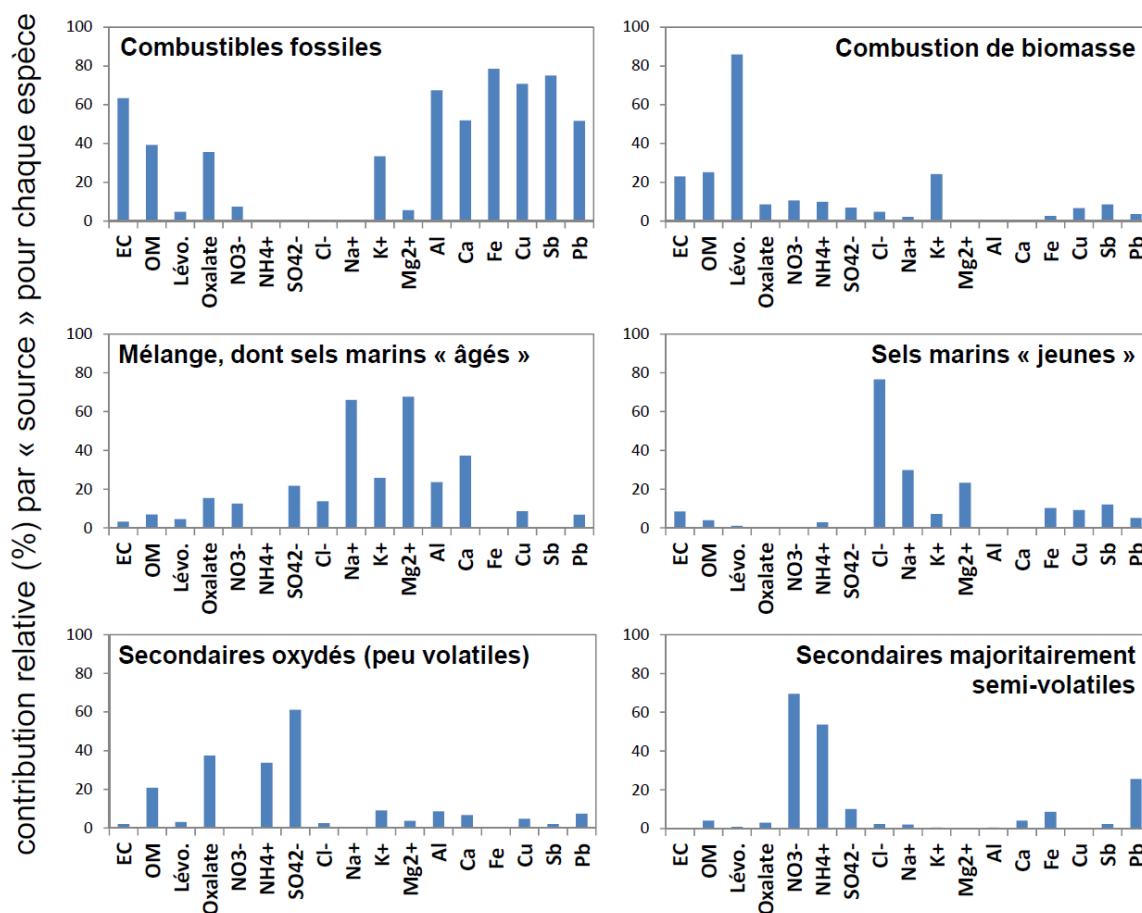


Figure 5 : profils chimiques des principales familles de sources des PM₁₀ prélevés sur la station Petit Quevilly entre octobre 2010 et octobre 2011.

⁵ <http://www.epa.gov/heasd/products/pmf/pmf.html>

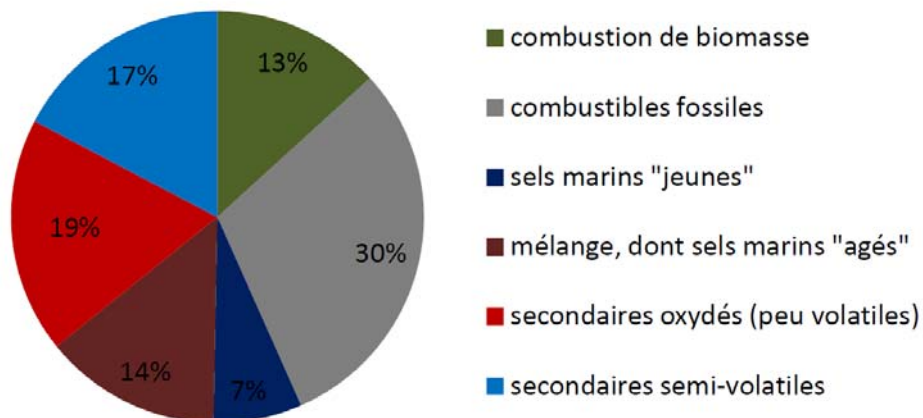


Figure 6 : Contributions moyennes annuelles des principales familles de sources des PM_{10} prélevés sur la station Petit Quevilly entre octobre 2010 et octobre 2011.

Dans une proportion globalement équivalente à celle des émissions anthropiques primaires, les mécanismes de (trans)formations secondaires apparaissent comme l'autre origine principale des PM_{10} mesurées au cours de l'étude. Ces mécanismes comprennent la condensation de nitrate d'ammonium (semi-volatile) en phase particulaire, ainsi que la formation et l'oxydation d'espèces moins volatiles (en particulier sulfate d'ammonium et aérosols organiques secondaires), sous l'effet de réactions (photo-)chimiques. Ils comprennent également l'adsorption de précurseurs gazeux acides sur les particules naturelles basiques, selon les processus décrits ci-dessus. En effet, outre le transport direct d'embruns marins vers le site d'étude (~7%), le sixième et dernier facteur identifié par PMF comprend un mélange de sources présentant un profil chimique global riche en éléments chimiques constitutifs des poussières terrigènes (Al et Ca notamment) et des sels de mer (en particulier Na^+ et Mg^{2+}), mais également en espèces anioniques (NO_3^- et SO_4^{2-}) et organiques résultant en particulier de mécanismes d'adsorption acido-basique et de substitution du chlore initialement présent sur les sels de mer.

DEPASSEMENTS DU SEUIL JOURNALIER FIXE POUR LES PM_{10}

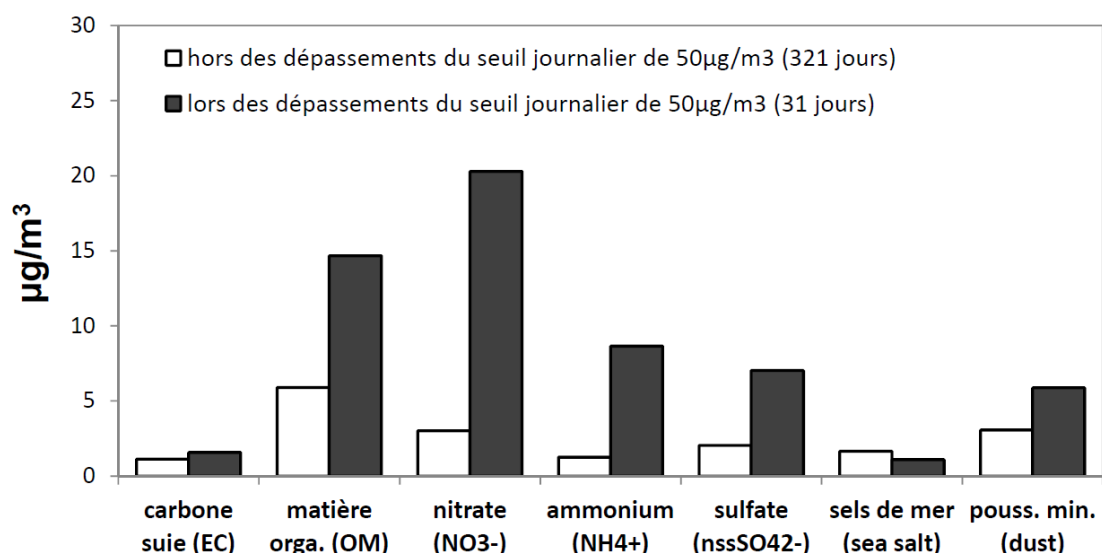


Figure 7 : Moyennes des concentrations en espèces chimiques majeures, entre octobre 2010 et octobre 2011, lors des 31 dépassements et hors dépassements du seuil journalier fixe pour les PM_{10} .

Les 31 dépassements du seuil journalier de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ fixé pour les PM_{10} observé sur l'ensemble de la période d'étude sont tous compris entre mi-novembre et fin avril. La figure 7 présente les concentrations des espèces chimiques majeures obtenues en moyenne pour l'ensemble de ces dépassements ainsi que pour l'ensemble des jours ne présentant pas de dépassement de seuil entre octobre 2010 et octobre 2011. On constate une nette augmentation des espèces inorganiques secondaires ainsi que de la matière organique.

De façon concordante, l'analyse PMF révèle une prédominance de la source « combustion de biomasse » lors des (quelques) dépassements observés en fin d'automne - début d'hiver, et une prédominance des aérosols secondaires inorganiques, et en particulier du nitrate d'ammonium, en fin d'hiver - début de printemps (figure 8).

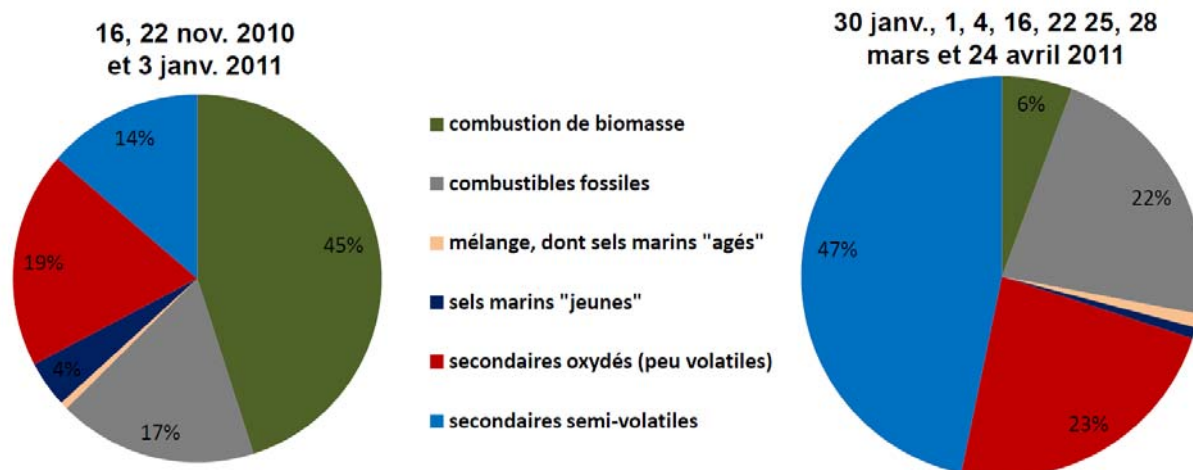


Figure 8 : Contributions relatives moyennes des principales familles de sources des PM_{10} prélevés sur la station Petit Quevilly lors des dépassements de seuil journalier de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ fixé pour les PM_{10} , à gauche : en fin d'automne - début d'hiver, et, à droite : en fin d'hiver - début de printemps.

Si les différentes contributions des sources anthropiques de particules primaires restent aujourd'hui difficiles à quantifier à l'aide des cadastres d'émission (à affiner), la formation d'espèces secondaires à partir de précurseurs gazeux s'avère encore plus complexe. En particulier pour le nitrate d'ammonium, l'importance relative des différentes sources d'émission des précurseurs gazeux reste à quantifier précisément. L'ammoniac, par exemple, est généralement considéré comme issu exclusivement des activités agricoles. Cependant, des études récentes mettent en évidence un impact significatif du trafic automobile (et du stockage des déchets) sur les niveaux de NH_3 mesurés en zone urbaine.⁶ En outre, l'utilisation d'urée au sein de pots catalytiques de nouvelle génération pourrait engendrer une augmentation de cette influence du trafic automobile sur les émissions d'ammoniac.

Cette dernière source est par ailleurs considérée comme le premier émetteur de NO_x à l'échelle nationale (même si la contribution des activités agricoles sur les concentrations de ces oxydes d'azote est probablement sous-estimée). Les mesures visant à abaisser les concentrations de nitrate d'ammonium semblent donc passer par une meilleure régulation des émissions de composés gazeux azotés liées à la fois aux activités agricoles (dont fabrication et épandage d'engrais) et au transport routier (sans oublier plus localement les émissions industrielles).

⁶ Pandolfi M., Amato F., Reche C., Alastuey A., Otjes R.J., Blom M.J. et Querol X.: Summer ammonia measurements in a densely populated Mediterranean city, Atmos. Chem. Phys., 12, 7557-7575, 2012

Il est enfin à souligner qu'à l'inverse des particules primaires et/ou organiques, il n'est pas possible de renseigner l'origine du nitrate d'ammonium prélevé *in situ* à partir de sa simple composition chimique. Encore peu explorée à ce jour en air ambiant, l'étude des rapports isotopiques de l'azote et de l'oxygène pourrait néanmoins permettre d'identifier par la mesure, les principaux émetteurs des précurseurs gazeux du nitrate d'ammonium ainsi que ses mécanismes de formation. Ainsi, les travaux réalisés actuellement en ce sens dans le cadre de l'appel à projets de recherche CORTEA 2012 pourraient permettre à moyen terme d'affiner l'estimation des responsabilités des différentes activités anthropiques dans la survenue d'épisodes de nitrate d'ammonium.⁷

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

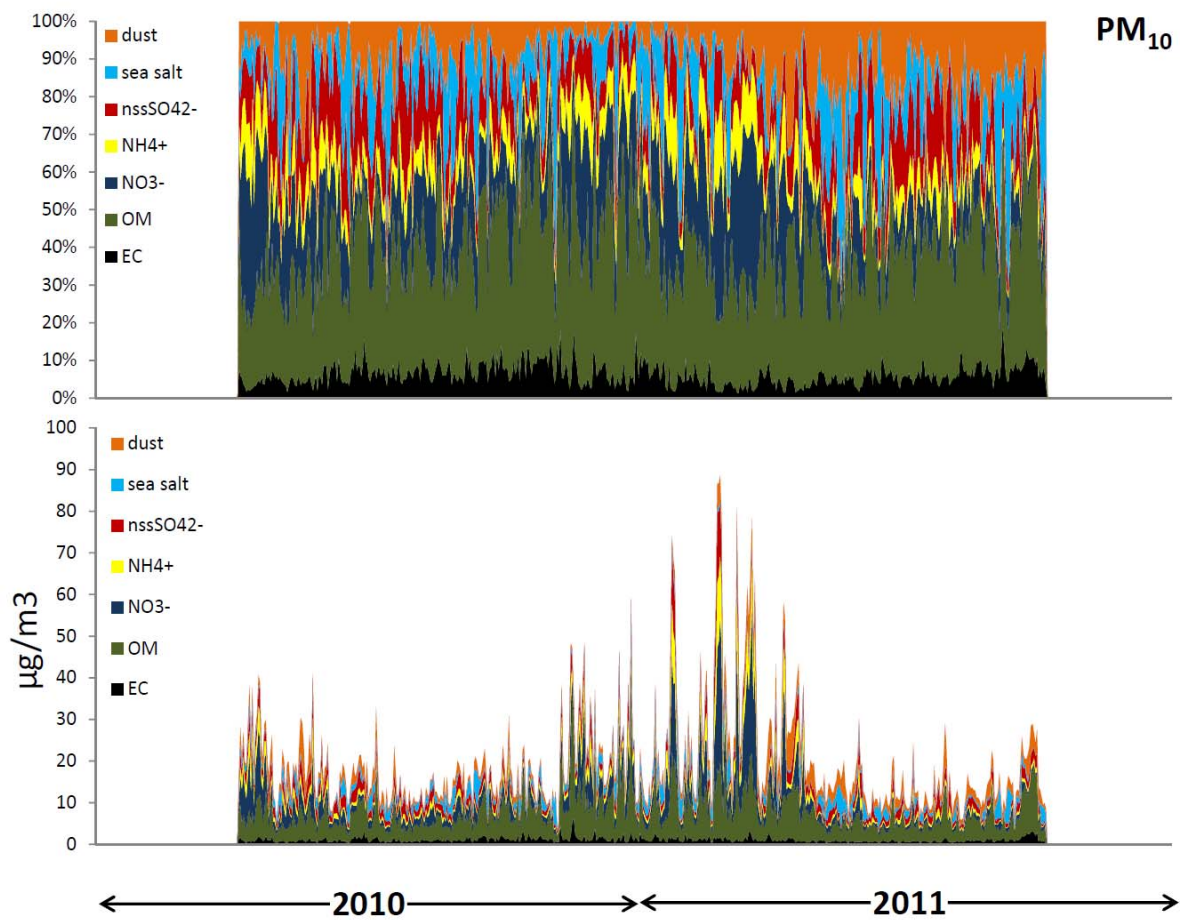
La caractérisation chimique d'échantillons journaliers de PM_{2.5} et PM₁₀ prélevés en continu par Air Normand sur la station *Petit Quevilly* depuis avril 2010 a d'ores et déjà permis la constitution d'une base de données détaillée des espèces chimiques majeures sur une période de 1,5 an (cf. Annexes A et B), désormais exploitable pour la réalisation d'exercices de comparaison modèle-mesures. Comme discuté lors du Comité d'Orientation de la Surveillance de la qualité de l'air du 4 avril 2012, cette base de données offre également l'opportunité d'envisager la réalisation d'une étude épidémiologique nécessitant des observations journalières sur une période pluriannuelle (typiquement 3 ans). Des discussions ont été engagées en ce sens avec l'InVS, afin notamment de déterminer la fraction granulométrique (PM_{2.5} ou PM₁₀) à considérer en priorité pour l'analyse systématique des échantillons prélevés entre octobre 2011 et avril 2013 (sous réserve de la disponibilité des financements nécessaires).

En outre, l'utilisation d'un modèle récepteurs de type PMF sur une série discontinue (1 jour sur 3) des prélèvements PM₁₀ en octobre 2010 et octobre 2011 a permis la mise en évidence de six grandes familles de sources. Une étude plus fine de ces sources nécessite une analyse chimique plus poussée d'une plus large variété de traceurs organiques et métalliques. Enfin, l'estimation de l'origine géographique de ces sources passe par l'utilisation d'outils statistiques (e.g. PSCF : « Probability Source Contribution Function ») couplant les sorties du modèle PMF aux rétro-trajectoires des masses d'air, et/ou par la mise en œuvre de modèles de chimie-transport (pouvant être également équipés de modules de « source apportement ») basés sur l'étude de scénarii comme envisagé dans le cadre du programme LCSQA 2013 (sur fiche « CARA » mais également sur une fiche nouvelle « modélisation et études de sources »).

⁷ Synthèse des travaux 2011 du programme CARA (O. Favez). Ref. INERIS: DRC-11-118202-12133A

Annexe A

Suivi des concentrations journalières et contributions relatives des espèces majeures au sein des PM₁₀ sur la station *Petit Quevilly* entre avril 2010 et octobre 2011



Annexe B

Suivi des concentrations journalières et contributions relatives des espèces majeures au sein des $PM_{2.5}$ sur la station *Petit Quevilly* entre avril 2010 et octobre 2011

