



Particules fines PM10

Etude de la composition chimique et des sources de
particules sur le centre-ville de Poitiers

Poitiers, Vienne (86)

2015 - 2016

Atmo Nouvelle-Aquitaine

est issue de la fusion des trois associations régionales de surveillance de l'air

Tel : 09.84.200.100 - contact@atmo-na.org



AIRAQ
Aquitaine
13 allée James Watt



Atmo Poitou-Charentes
Poitou-Charentes
ZI Périgny La Rochelle
12 rue A. Fresnel



Limair
Limousin
35 rue Soyouz

	FIX_INT_14_022	2	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	---	---



Client :

- Etude interne

Titre : *Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers*

Référence : *FIX_INT_14_022*

Version : *04/01/2017*

Nombre de page : 50 (couverture comprise)

	Rédaction	Vérification	Approbation
Nom	Agnès HULIN	Rémi Feuillade	Alain GAZEAU
Qualité	Responsable études et modélisation	Directeur délégué	Directeur général
Visa			

Conditions de diffusion

Atmo Nouvelle-Aquitaine fait partie du dispositif français de surveillance et d'information sur la qualité de l'air. Sa mission s'exerce dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996 et de ses décrets d'application. A ce titre et compte tenu de ses statuts, Atmo Nouvelle-Aquitaine est garant de la transparence de l'information sur les résultats de ces travaux selon les règles suivantes :

- Atmo Nouvelle-Aquitaine est libre de leur diffusion selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site internet (www.atmo-poitou-charentes.org)
- les données contenues dans ce rapport restent la propriété d'Atmo Nouvelle-Aquitaine. En cas de modification de ce rapport, seul le client cité ci-dessus sera informé d'une nouvelle version. Tout autre destinataire de ce rapport devra s'assurer de la version à jour sur le site Internet de l'association.
- En cas d'évolution de normes utilisées pour la mesure des paramètres entrant dans le champ d'accréditation d'Atmo Nouvelle-Aquitaine, nous nous engageons à être conforme à ces normes dans un délai de 6 mois à partir de leur date de parution
- Toute utilisation totale ou partielle de ce document doit faire référence à Atmo Nouvelle-Aquitaine et au titre complet du rapport. Atmo Nouvelle-Aquitaine ne peut en aucune façon être tenu responsable des interprétations, travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux pour lesquels l'association n'aura pas donnée d'accord préalable

Dans ce rapport, les incertitudes de mesures ne sont pas utilisées pour la validation des résultats des mesures obtenues.

	FIX_INT_14_022	3	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	---	---

Sommaire

Chapitre 1	Présentation du dispositif de suivi et bilan de fonctionnement	8
1.1	Polluants suivis et méthodes de mesures	8
1.1.1	La nature et l'origine des particules atmosphériques	8
1.1.2	Coefficients de conversion utilisés dans cette étude	11
1.1.3	Les sources d'émissions de particules primaires sur l'agglomération de Poitiers	11
1.2	Dispositif de mesure des particules déployé sur Poitiers-centre	13
1.2.1	Le site de mesure « Poitiers centre », rue Monseigneur Prosper Augouard	13
1.2.2	Mesure automatique en continu de la masse des particules fines PM2.5 et PM10 (TEOM FDMS)	14
1.2.3	Mesure automatique en continu du Black Carbon (AE33)	14
1.2.4	Mesure automatique en continu de la composition chimique des particules par spectrométrie de masse (ACSM)	15
1.2.5	Analyse différées des prélèvements journaliers de particules sur filtre (DA80)	15
1.2.6	Mesure automatique en continu de la granulométrie des particules (GRIMM)	16
1.3	Bilan des mesures des concentrations particules PM10 et PM2.5 sur la station du centre-ville de Poitiers (Augouard)	18
1.3.1	Bilan réglementaire 2015 des mesures de particules sur Poitiers	18
Chapitre 2	Etude de la contribution des sources de combustion aux concentrations de particules fines (AE33 - mesure du Black Carbon)	21
Chapitre 3	Bilan de la composition chimique des particules durant l'année 2015 (analyse des prélèvements journaliers)	25
3.1	Bilan des analyses de particules PM10	25
3.2	Impact de la température sur la composition des particules	27
3.3	Etude statistique des source de PM10 par PMF (Positive Matrix Factorization)	29
3.3.1	Composition des particules PM10 et facteurs (profils des sources) retenus	30
3.3.2	Synthèse des enseignements issus de la PMF sur les sources de particules	34
Chapitre 4	L'ACSM : mesure en continue par spectromètre de masse	36
4.1	Bilan des mesures ACSM	36
4.1.1	Bilan partiel des mesures de janvier à décembre 2016	36
4.1.2	Application aux épisodes de pollution de mars 2016	38
Chapitre 1	Etude de la granulométrie des particules	42
1.1	Résultats des mesures granulométriques à l'échelle de l'année 2015	42
1.2	Etude des corrélations entre la présence d'éléments chimique et la taille des particules	45
1.2.1	Les sels marins	45
1.2.2	Les nitrates et sulfates d'ammonium	45
1.2.3	Les composés traceurs du chauffage au bois.	46

Lexique

• AASQA	Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l’Air
• ACSM	Aerosol Chemical Speciation Monitor
• AE33	Aethalomètre Ae33
• BC	Black Carbon ou carbone suie
• BCff	Black Carbon issu de la combustion de combustibles fossiles
• BCwb	Black Carbon issu de la combustion de biomasse
• CARA	Caractérisation Chimique des particules
• CIRC	Centre international de recherche sur le cancer
• Cl ⁻	Ion chlorure
• COV	Composés organiques volatils
• EC	Carbone élémentaire
• FDMS	Filter dynamics measurement system
• HAP	Hydrocarbure aromatique polycyclique
• LCSQA	Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air
• MSA	L' acide méthylsulfonique ou acide méthanesulfonique
• Na ⁺	Ion sodium
• NH ₃	Ammoniac
• NH ₄ ⁺	Ion ammonium
• NO ₃ ⁻	Ion nitrate
• OC	Carbone organique
• OM	Matière organique
• OMS	Organisation Mondiale de la Santé
• PM1	Particules fines de diamètre aérodynamique inférieur à 1 µm
• PM2.5	Particules fines de diamètre aérodynamique inférieur à 2.5 µm
• PM10	Particules fines de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm
• PMF	
• PMff	Particules issues de la combustion de combustibles fossiles
• PMwb	Particules issues de la combustion de biomasse
• SO ₄ ²⁻	Ion sulfate
• TEOM	tapered element oscillating microbalance
• TSP	Particules totales en suspension
• µg	10 ⁻⁶ gramme (1 millionième de gramme)
• µm	10 ⁻⁶ mètre (1 millionième de mètre)

Seuils de qualité de l'air

- objectif de qualité : niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n’est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d’assurer une protection efficace de la santé humaine et de l’environnement dans son ensemble
- seuil d'alerte : niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l’ensemble de la population ou de dégradation de l’environnement, justifiant l’intervention de mesures d’urgence
- seuil d'information et de recommandations : niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaires l’émission d’informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions

	FIX_INT_14_022	5	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	---	---

- valeur cible :
 - en air extérieur : niveau à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble
 - en air intérieur : valeur qui, si elle est respectée, permet de mieux protéger la santé publique des effets nocifs des polluants en cas de fréquentation des parcs de stationnement couverts
- valeur limite : niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble

	FIX_INT_14_022	6	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	---	---

Introduction

Une étude menée en 2013 par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) de l'OMS a montré que la pollution de l'air extérieur était carcinogène, les matières particulaires étant le polluant associé le plus étroitement à une incidence accrue de cancers, en particulier du poumon¹.

En 2012, on estimait à 3,7 millions le nombre de décès prématurés causés dans le monde par la pollution ambiante aux particules fines dans les zones urbaines et rurales. Il existe un lien étroit et quantitatif entre l'exposition à des concentrations élevées en particules (PM₁₀ et PM_{2,5}) et un accroissement des taux de mortalité et de morbidité, au quotidien aussi bien qu'à long terme. Même à faible concentration, la pollution aux particules fines a une incidence sanitaire : aucun seuil n'a été identifié au-dessous duquel elle n'affecte en rien la santé.

Selon une étude de Santé Publique France, publiée en juin 2016², dans un scénario sans pollution atmosphérique par les particules, où la qualité de l'air en France continentale serait identique à celle de ces communes les moins polluées (5 µg/m³), plus de 48 000 décès seraient évités chaque année en France dont environ 3 500 en Nouvelle-Aquitaine.

Ces constats sanitaires mettent en évidence l'importance d'agir pour réduire les concentrations de particules fines présentes dans l'air. Le rôle d'Atmo Nouvelle-Aquitaine, l'observatoire régional de l'air, est de fournir aux décideurs l'ensemble des informations nécessaires à la mise en œuvre et l'évaluation des politiques de réduction des niveaux de particules.

Atmo dispose pour cela depuis de plus d'une vingtaine d'années d'un réseau d'analyseurs sur la région qui mesure en continu la concentration dans l'air des particules fines PM₁₀ et PM_{2.5}.

En complément, depuis maintenant plus de deux ans, des travaux sont menés en collaboration avec le LCSQA (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'air) sur le centre-ville de Poitiers, dans le but d'étudier la composition chimique des particules.

A travers leur composition, il est possible d'évaluer la contribution des différentes sources d'émissions, et donc de cibler les secteurs émetteurs dans la mise en œuvre des politiques urbaines.

ATMO a notamment équipé sa station de Poitiers-centre d'une nouvelle génération d'appareils de mesure qui permet d'étudier en temps réel la composition chimique des particules fines (AE33, ACSM).

La composition des particules en zones urbaines est particulièrement complexe de par la multitude des sources d'émission et des mécanismes de transformation physico-chimique impliqués. Sont présentes des sources anthropiques (trafic routier, chauffage au bois, industrie,...) et naturelles (sels de mer, poussières terrigènes entre autres), toutes ayant des compositions chimiques spécifiques.

Ce rapport présente les résultats des travaux de caractérisation des particules et de leur origine menés en 2015 et début 2016 sur le centre-ville de Poitiers.

¹ Source : OMS : Qualité de l'air ambiant (extérieur) et santé - Aide-mémoire N°313
Mars 2014

² Impacts de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyse des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique, Santé Publique France, Juin 2016

	FIX_INT_14_022	7	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	---	---

Chapitre 1 Présentation du dispositif de suivi et bilan de fonctionnement

1.1 Polluants suivis et méthodes de mesures

1.1.1 La nature et l'origine des particules atmosphériques

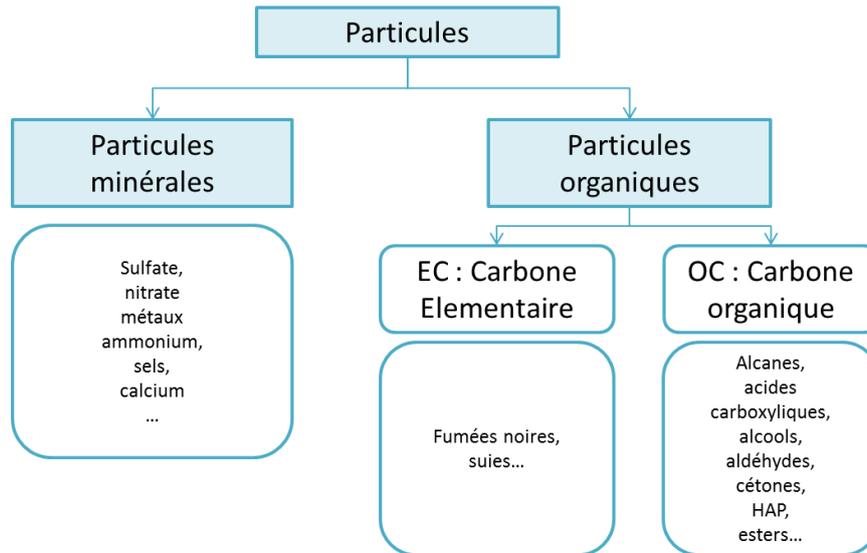
Les particules atmosphériques sont constituées d'une part de particules "**primaires**", c'est-à-dire des particules directement émises par des sources naturelles (érosion de sol, embruns et aérosols marins, volcanisme, etc.) ou anthropiques (combustions, etc.), et d'autre part de particules dites "**secondaires**", c'est-à-dire de particules formées dans l'air par des processus chimiques complexes, en particulier à partir de précurseurs gazeux présents dans l'atmosphère (oxydes de soufre et d'azote, ammoniac, composés organiques volatiles, etc.).

La composition chimique des particules présente une très grande variabilité, fonction à la fois de la nature et de la proximité des sources d'émission ou des transformations que les particules subissent dans l'atmosphère.

On définit deux grandes fractions de particules: la fraction inorganique (ou minérale) et la fraction organique. Le plus souvent, les particules en suspension dans l'air sont constituées de ces deux fractions. La fraction inorganique est composée essentiellement de sulfates, de nitrates et d'ammonium. À cela s'ajoutent d'autres espèces, en général présentes en concentration plus faibles, comme certains métaux (plomb, arsenic, cadmium,...), minéraux (carbonate de calcium), embruns marins,

En ce qui concerne la fraction organique, on distingue la fraction contenant du carbone élémentaire (EC) et la fraction contenant du carbone organique (OC). Le carbone élémentaire est constitué à quasiment 100% d'atomes de carbone et est considérée comme chimiquement inerte. Les particules de carbone élémentaire sont émises directement dans l'atmosphère au cours des processus de combustion. Le carbone organique est la fraction regroupant tous les composés organiques fonctionnalisés, soit émis directement dans l'atmosphère, soit formés in-situ par condensation ou nucléation des produits de dégradation photochimique des composés organiques volatils (COV). La fraction OC est une matrice très complexe, constituée d'une multitude de composés différents appartenant aux grandes familles de la chimie organique que sont les alcanes, les acides carboxyliques, les alcools, les aldéhydes, les cétones, les esters, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les dioxines,...

	FIX_INT_14_022	8	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	---	---



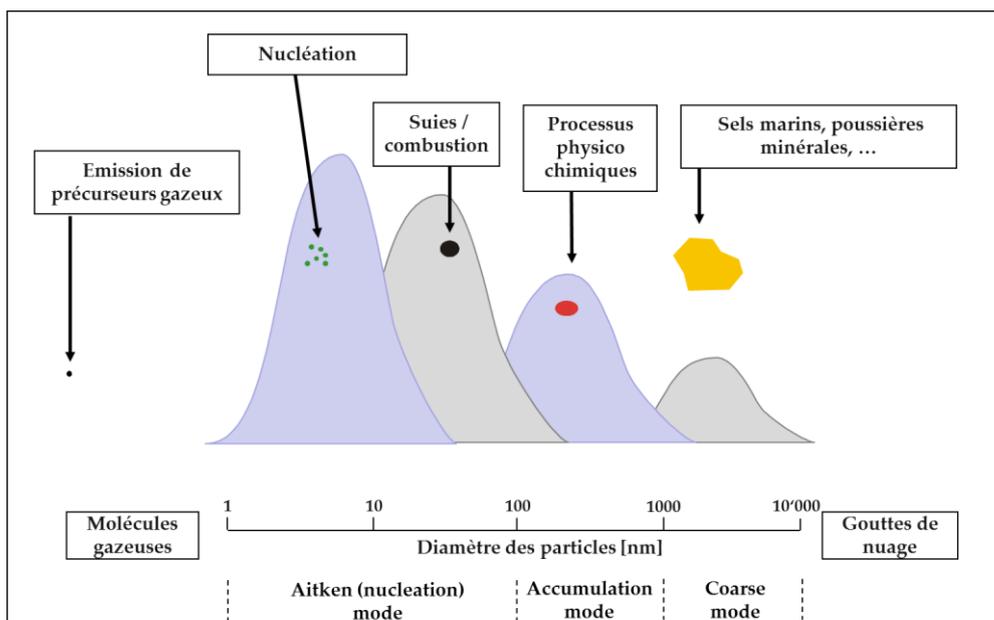
La composition chimique des PM varie dans l'espace, dans le temps et en fonction de leur fraction granulométrique:

- dans l'espace, car notablement dépendante des sources d'émissions présentes sur les zones géographiques ;
- dans le temps, et ce en lien avec les diverses conditions météorologiques influençant la dispersion ou l'accumulation des polluants, les processus chimiques atmosphériques à l'origine de particules secondaires et l'intensité des sources émettrices ;
- enfin en fonction de la classe granulométrique des particules ; si la plupart des composantes se retrouve dans les différentes fractions granulométriques, leurs parts relatives y sont très variables.

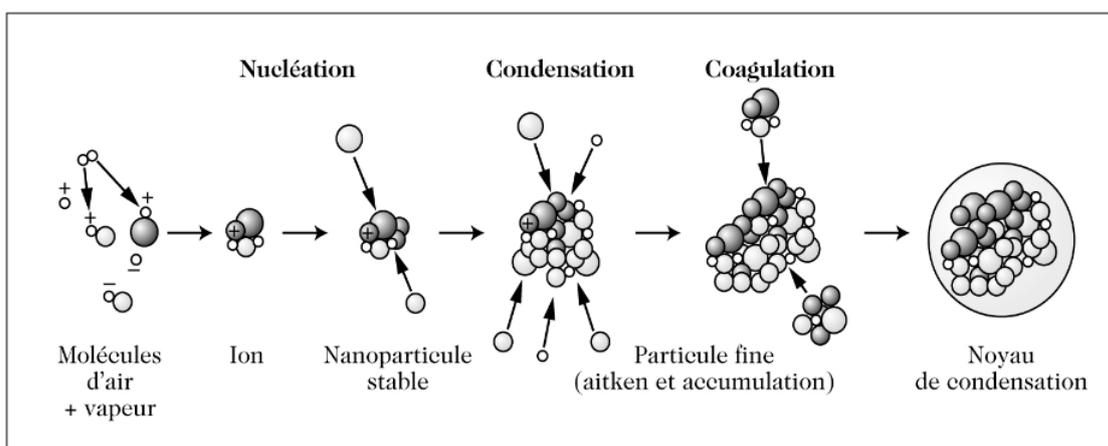
La granulométrie des particules

Le domaine de dimension des particules dans l'atmosphère s'étend de quelques nanomètre environ (agrégats moléculaires) jusqu'à 100 micromètres (poussières industrielles ou naturelles). On distingue deux types de particules selon leur taille et leur mode de formation : les particules grossières et les particules fines. La frontière entre ces deux fractions se situe habituellement entre 1 μm et 10 μm . Les particules fines sont parfois divisées à leur tour en deux modes. L'ensemble de l'aérosol est donc formé de trois distributions log normales. Cette classification selon la taille est aussi relative au mécanisme de formation des particules.

- Le mode nucléation comprend les particules dont la taille est inférieure à 0,1 μm (i.e les particules ultra fines), elles sont issues pour l'essentiel de la combustion en moteur ou de processus de conversion gaz particule.
- Le mode accumulation est constitué des particules dont la taille est comprise entre 0,1 μm et 1-2 μm ; elles proviennent soit du grossissement de noyaux par condensation, soit de la coagulation de particules du mode nucléation.
- Et enfin le mode particules grossières est formé par les particules supérieures à 1-2 μm ; ces particules sont issues pour l'essentiel de processus mécaniques.



Les modes de formation des particules



Etapes de formation d'un aérosol secondaire - Source : université Paris Diderot

Le mode de nucléation correspond à des particules qui ont été formées à partir de molécules gazeuses et ont pu par la suite grossir par condensation d'autres molécules gazeuses et par coagulation entre elles. Ce mode est situé dans la partie ultrafine des particules.

Le mode d'accumulation, ainsi appelé car les processus dynamiques mènent à l'accumulation des particules dans cette fourchette de tailles, résulte de l'émission de particules fines et de processus tels que la condensation et la coagulation.

Le mode grossier résulte de l'émissions de particules émises principalement par des processus mécaniques (abrasion, érosion éolienne, etc.). Les processus de condensation et de coagulation ont peu d'effets sur ces particules.

1.1.2 Coefficients de conversion utilisés dans cette étude

Source : « Caractérisation chimique des particules- Bilan des campagnes de janvier 2008 à janvier 2009 », Juin 2009, LCSQA

1. Matière carbonée : EC et OM

Résultats d'analyse	Masse	Coefficient/expression
EC	EC	1
OC	OM	$OM=1.75 * OC^3$

2. Espèces inorganiques secondaires

Résultats d'analyse	Masse	Coefficient/expression
NH ₄ ⁺	NH ₄ ⁺	1
NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	1
SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	1

3. Poussières minérales et sels marins

Source : Bressi et al., Atmos chem. Phys, 2013

Résultats d'analyse	Masse	Coefficient/expression
Na ⁺	Sels marins	Sels marins = $2.54 * [Na^+]$ = $Na^+ + Cl^- + Mg^{2+} + ssK^+ + ssCa^{2+} + ssSO_4^{2-}$
Na ⁺ , Ca ²⁺	Poussières crustales	Poussières crustales = $nssCa^{2+}/0.15$ $= (Ca^{2+} - 0.038xNa^+)/0.15$

ss : sea salt

nss : non sea salt

1.1.3 Les sources d'émissions de particules primaires sur l'agglomération de Poitiers

Les données sont issues de l'inventaire des émissions d'Atmo Nouvelle-Aquitaine (Icare 2010 version 3.1). Un inventaire des émissions est une évaluation des sources d'émissions directes sur un territoire données, basée sur des données statistiques. Il ne traite que des émissions de particules primaires.

³ Turpin and Lim 2001

	FIX_INT_14_022	11	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	----	---

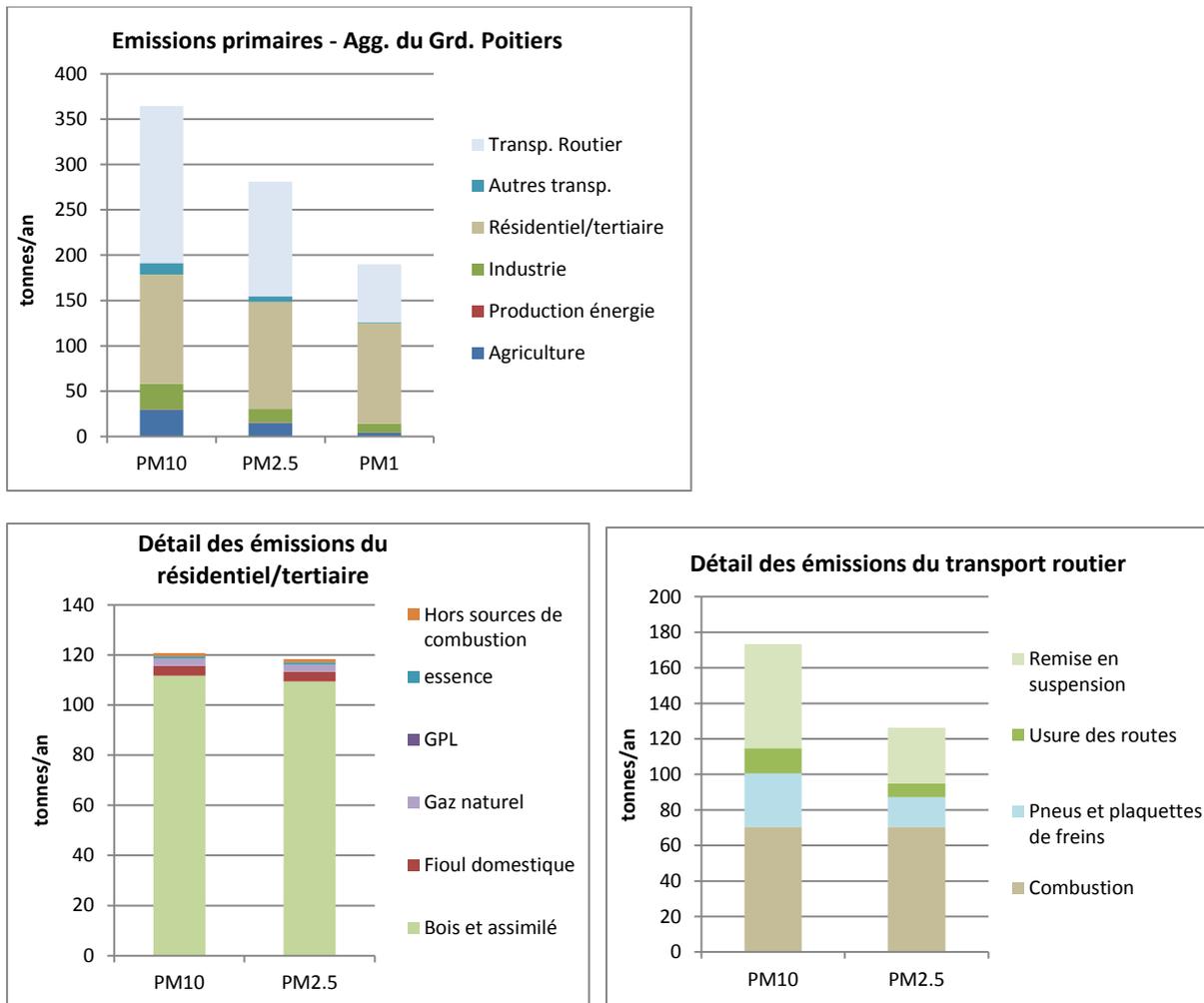


Figure 1 (source : Atmo Nouvelle-Aquitaine, ICARE 2010 V3.0)

Les sources primaires de particules sur le territoire de l'agglomération sont principalement les transports et le chauffage des logements (résidentiel tertiaire). La répartition des sources n'est pas la même selon la taille des particules considérées ; le trafic routier est à l'origine de 48% des PM10, mais 38% des PM1. A noter que toutes les émissions du secteur routier ne sont pas liées à la combustion des carburants ; une partie importante des particules est émise par abrasion (pneus, freins, route,...) et par remise en suspension des particules du sol au passage des véhicules.

Le secteur résidentiel est un des principaux contributeurs de particules sur l'agglomération de Poitiers. Un combustible en particulier est à l'origine de la quasi-totalité des émissions liées au chauffage : le bois. Il ne s'agit pas d'une spécificité liée à la ville de Poitiers, les émissions liées au chauffage au bois sont une des principales sources de particules en France (31 % des émissions nationales de PM10, 66% des PM1⁴ en 2015 sont, en raison principalement du chauffage au bois, issues du secteur résidentiel).

⁴ Source CITEPA / format SECTEN - avril 2016

1.2 Dispositif de mesure des particules déployé sur Poitiers-centre

1.2.1 Le site de mesure « Poitiers centre », rue Monseigneur Prosper Augouard

Atmo Nouvelle-Aquitaine surveille les particules fines dans l'air depuis plus de 20 ans dans le but de répondre aux exigences des dispositifs préfectoraux d'alerte à la pollution et pour évaluer à l'échelle de l'année le respect des seuils réglementaires européens.

En parallèle du réseau de stations de mesures des PM₁₀ et PM_{2.5} déployé sur la Nouvelle-Aquitaine, Atmo Nouvelle-Aquitaine a souhaité développer l'étude de la taille et la nature des particules fines. L'observatoire a installé depuis 2015 des appareils complémentaires dans une de ses stations de surveillance sur Poitiers. Pour des raisons techniques, c'est celle du centre-ville, localisée rue Monseigneur Prosper Augouard, qui a été choisie. Cela en fait la station de référence « particules » à l'échelle de l'ex-région Poitou-Charentes.



La station est équipée depuis sa création en 2013 de deux analyseurs « classiques » TEOM FDMS pour la mesure réglementaire des particules PM_{2.5} et PM₁₀. Depuis le début de l'année 2015, elle a été équipée de préleveurs et analyseurs destinés à étudier en continu ou en différé la composition chimique et granulométrique des particules. Le but est de pouvoir à partir de ces informations retracer les sources et phénomènes à l'origine des particules présentes dans l'air d'une zone urbaine.

	FIX_INT_14_022	13	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	----	---

Matériel de mesure	Type de mesure	Composés mesurés	Pas de temps exploité	Objectif de la mesure
TEOM FDMS (x2)	automatique	PM10 et PM2.5	¼ horaire	Mesure réglementaire
DA80	Analyse en différée	EC/OC, espèces ioniques, sucres, métaux	jour	Spéciation chimique des PM en différé
ACSM	automatique	OM, NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NH ₄ ⁺ , Cl ⁻	½ heure	Spéciation chimique des PM en continue
AE33	automatique	Black Carbon	¼ horaire	Mesure du BC + étude des sources de combustion
GRIMM	automatique	PM (31 classes de tailles)	¼ horaire	Etude de la granulométrie des PM

1.2.2 Mesure automatique en continu de la masse des particules fines PM2.5 et PM10 (TEOM FDMS)



Les mesures automatiques des particules en suspension PM10 et PM2.5 sont réalisées à l'aide de deux TEOM FDMS.

Le TEOM-FDMS (Tapered Element Oscillating Monitor – Filter Dynamic Measurement System) assure la mesure en temps réel de la concentration en PM10 et PM2.5 sur la station Poitiers centre.

Le TEOM-FDMS permet une estimation directe de la concentration massique des particules atmosphériques à l'aide d'une mesure gravimétrique. Cette dernière est basée sur la variation de fréquence d'un élément oscillant sur lequel est placé un filtre. Les aérosols échantillonnés sont impactés sur ce filtre. La fréquence de l'élément oscillant est directement liée à la masse de particules impactées.

Dans le cadre de son utilisation pour la surveillance réglementaire des PM2,5 et PM10, le TEOM-FDMS est défini comme équivalent à la méthode de référence gravimétrique (NF EN 12341). Atmo Nouvelle-Aquitaine n'est pas accrédité COFRAC pour ce type de mesure.

1.2.3 Mesure automatique en continue du Black Carbon (AE33)

L'Aethalomètre permet la détermination des propriétés d'absorption des aérosols à partir de mesure de l'atténuation d'un filtre (entre l'intensité lumineuse incidente et l'intensité lumineuse après le filtre) sur lequel les particules viennent s'impacter. L'atténuation mesurée est directement liée à la masse de black carbon. La mesure de l'atténuation dépend de la longueur d'onde utilisée, l'AE33 réalise des mesures d'atténuation pour 7 longueurs d'ondes différentes.

Le Black Carbon (BC) mesuré est déconvolué en BCbb (combustion de biomasse) et BCff (combustion de fuel

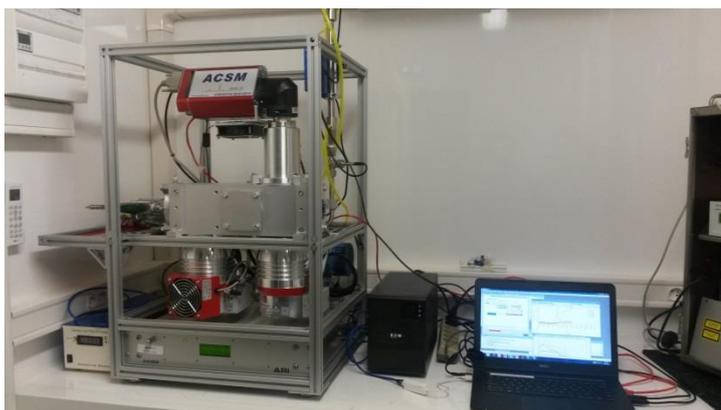


	FIX_INT_14_022	14	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	----	---

fossile) en se basant sur la différence du signal d'absorption en proche IR et en UV. En effet, dans les longueurs d'onde proches de l'UV, certaines molécules organiques contribuent à l'augmentation de l'absorption mesurée par l'Aethalomètre. Ces molécules, souvent regroupées sous le terme « *Brown Carbon* », sont supposées être majoritairement liées au chauffage au bois (Kochbach et al., 2006). Ainsi, les mesures d'absorptions à différentes longueurs d'onde permettent d'estimer la contribution de deux sources de combustion majoritaires en zone urbaine en France, le chauffage au bois et le trafic automobile.

1.2.4 Mesure automatique en continue de la composition chimique des particules par spectrométrie de masse (ACSM)

Développé par la société Aerodyne Res. Inc. (Billerica, MA, USA), l'Aerosol Chemical Speciation Monitor (ACSM) est un spectromètre de masse aérosol qui a été créé sur la base de l'instrument AMS (Aerosol Mass Spectrometer) afin de permettre une mesure rapide des composantes chimiques majeures des particules submicroniques non-réfractaires (OM, NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺, Cl⁻) dans une optique de fonctionnement en continue.



L'aérosol est échantillonné à 3 L/min jusqu'à l'instrument, puis sous-échantillonné à travers une lentille de focalisation. Cette dernière sélectionne les particules suivant leurs tailles avec une efficacité de 100% entre 150 et 450 nm et au-dessus de 50% dans la gamme 100-700 nm. Par approximation, on suppose que l'ACSM est représentatif de la fraction PM₁ des aérosols.

La lentille focalise le flux de particules qui vient s'impacter sur un cylindre en tungstène chauffé à 600°C. Les particules non-réfractaires sont alors immédiatement vaporisées, puis ionisées par impact électronique. Les fragments obtenus sont finalement séparés par quadripôle.

La détection s'effectue par la mesure de signal électrique des fragments arrivant sur le détecteur, constituant ainsi des spectres de masse. Ces derniers sont convertis en signaux relatifs aux espèces à l'aide d'une table de fragmentation. La table de fragmentation est une combinaison linéaire des signaux sur chaque m/z, où les contributions ont été préalablement définies expérimentalement.

1.2.5 Analyse différées des prélèvements journaliers de particules sur filtre (DA80)

Depuis quelques années (depuis 2015 dans le cas du site de Poitiers) ATMO Nouvelle Aquitaine participe au programme national CARA, piloté par le LCSQA en étroite collaboration avec les AASQA et des laboratoires universitaires. Ce programme cherche à répondre au besoin de compréhension et d'information sur l'origine des épisodes de pollution particulaire. En dressant la spéciation chimique des échantillons de particules atmosphériques prélevées en plusieurs points en France, il détermine notamment les principales sources de particules fines, afin d'aider à l'élaboration de plans d'actions adaptés.



	FIX_INT_14_022	15	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	----	---

Dans le cadre du programme CARA, des prélèvements journaliers sur filtres sont effectués par haut débit (30 m³/h) DA80 sur la fraction PM₁₀ des particules pour l'analyse :

des aérosols carbonés :

- EC, OC

des espèces ioniques :

- Chlorure (Cl⁻)
- Nitrate (NO₃⁻)
- Sulfate (SO₄²⁻)
- Calcium (Ca²⁺)
- Oxalate (C₂O₄)
- Sodium (Na⁺)
- Ammonium (NH₄⁺)
- Potassium (K⁺)
- Magnésium (Mg²⁺)

des acides organiques :

- Acide méthylsulfonique (ou methansulfonic acid (MSA) (CH₄O₃S))

des sucres et polyols

- arabitol
- sorbitol
- mannitol
- levoglucosan
- mannosan
- galactosan
- glucose

des métaux

Les prélèvements sont réalisés sur un pas de temps journalier (minuit à minuit en heure UTC).

Analyse des prélèvements

- L'analyse des métaux a été réalisée par ICP-MS par l'école des Mines de Douais.
- L'analyse des espèces ioniques est réalisée par chromatographie ionique (après extraction en phase aqueuse)
- L'analyse EC-OC est réalisée par analyse thermo-optique.
- L'analyse des composés carbonés, des sucres et des espèces ioniques ont été réalisés soit par l'INERIS, soit par le LGGE.

1.2.6 Mesure automatique en continue de la granulométrie des particules (GRIMM)

Le compteur de poussières Grimm est un photomètre qui permet la mesure instantanée et continue de la granulométrie des poussières.

L'air est échantillonné par l'intermédiaire d'une sonde isocinétique. Il est aspiré par une pompe de débit constant et ajusté (1,2 litres/minute), puis passe dans la cellule de mesure optique. Lorsqu'une particule entre dans la cellule de mesure, elle traverse un faisceau laser et produit une diffraction de la lumière qui est mesurée dans un angle de 90° par un photo-détecteur. Un analyseur de pics permet ensuite de classifier les particules selon leurs tailles.

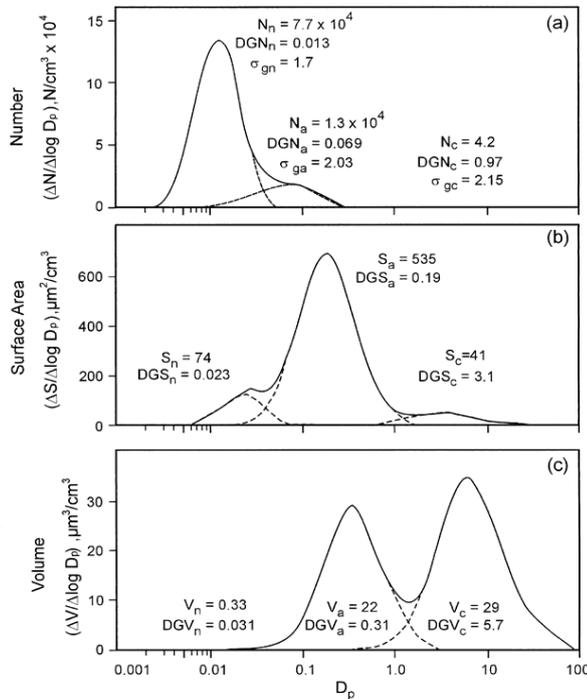
La mesure est effectuée sur 31 canaux de tailles particulières différentes (0.25 à 32 µm), le résultat est exprimé en nombre de particules par litre.



	FIX_INT_14_022	16	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	----	---

Pour permettre la lecture des résultats en masse, un coefficient moyen a été appliqué à chacune de ces classes, selon le principe suivant : un volume sphérique a été calculé à partir du diamètre médian de chaque classe, auquel a été appliquée une densité de 1,2 pour les particules submicroniques et de 1,8 pour les supermicroniques.

Le graphique suivant illustre l'importance de l'unité choisie pour la représentation de la distribution granulométrique des particules, à travers un profil « type » de répartition granulométrique.



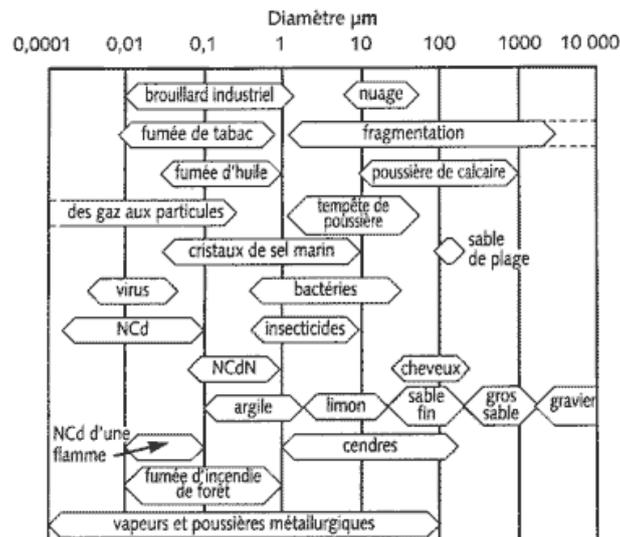
... en nombre

... en surface

... en volume /
en masse

Figure 2-3. Distribution of coarse (c), accumulation (a), and nuclei- or ultrafine (n)-mode particles by three characteristics, a) number (N), b) surface area (S) and c) volume (V) for the grand average continental size distribution. DGV = geometric mean diameter by volume; DGS = geometric mean diameter by surface area; DGN = geometric mean diameter by number; D_p = particle diameter.

Source: Whitby (1978).



Emetteurs et diamètres des particules Les différents émetteurs et diamètres des particules générées

Ndc = Noyaux de Condensation, NCdN = Noyaux de condensation des nuages
 crédit : SCHAEFER, DAY, 1997

1.3 Bilan des mesures des concentrations particules PM10 et PM2.5 sur la station du centre-ville de Poitiers (Augouard)

La mesure de la masse des particules PM10 et PM2.5 est assurée sur Poitiers-Centre via 2 TEOM-FDMS. Les mesures des deux autres stations de mesure de la ville sont présentés pour servir de base de comparaison :

- Poitiers – Couronneries : station de fond périurbain, située dans le quartier des Couronneries à Poitiers
- Poitiers trafic : station de mesure en proximité du trafic, située avenue de La Libération à Poitiers.

La réglementation exige une représentativité de 85 % sur l'année (c'est-à-dire que les mesures doivent être réalisées et valides pour au moins 310 jours sur l'année) pour permettre le calcul et la comparaison avec les valeurs réglementaires. Le tableau suivant donne le taux de représentativité des mesures.

Représentativité annuelle 2015	Particules fines PM10	Particules fines PM2.5
Poitiers centre (Augouard)	97%	95%
Poitiers - Couronneries	98%	Pas de mesure
Poitiers trafic (av de la Libération)	95%	Pas de mesure

Table 1 : taux de représentativité annuelle des mesures de PM10 et PM2.5 – Poitiers - 2015

La représentativité de la mesure est supérieure à 85% pour les PM10 et PM2.5 pour les trois stations de mesures.

1.3.1 Bilan réglementaire 2015 des mesures de particules sur Poitiers

		Poitiers trafic	Poitiers centre	Poitiers – Couronneries	Réglementation			
					type	seuil	limite	protection de
Particules fines (PM10)	moyenne annuelle $\mu\text{g}/\text{m}^3$	27	20	16	objectif de qualité	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		santé humaine
		27	20	16	valeur limite	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	nombre de dépassements de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière	15	5	4	valeur limite	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	pas plus de 35 dépassements	
Particules très fines (PM2,5)	moyenne annuelle $\mu\text{g}/\text{m}^3$		14		objectif de qualité	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		santé humaine
			14		valeur cible	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
			14		valeur limite	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		

Table 2 : bilan réglementaire – Poitiers - 2015

	FIX_INT_14_022	18	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	----	---

En 2015, les valeurs limites et valeurs cibles pour les PM₁₀ et PM_{2.5} étaient largement respectées sur la station de Poitiers-Centre. Seul l'objectif de qualité est dépassé pour les PM_{2.5} (14 µg/m³ au lieu de 10).

L'objectif de qualité est un « niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble ».

Les valeurs réglementaires sont également respectées sur les deux autres stations de mesures de Poitiers pour les PM₁₀. Les concentrations sont sensiblement plus élevées sur la station « Poitiers-traffic », reflétant l'impact local du trafic routier sur la présence des particules PM₁₀.

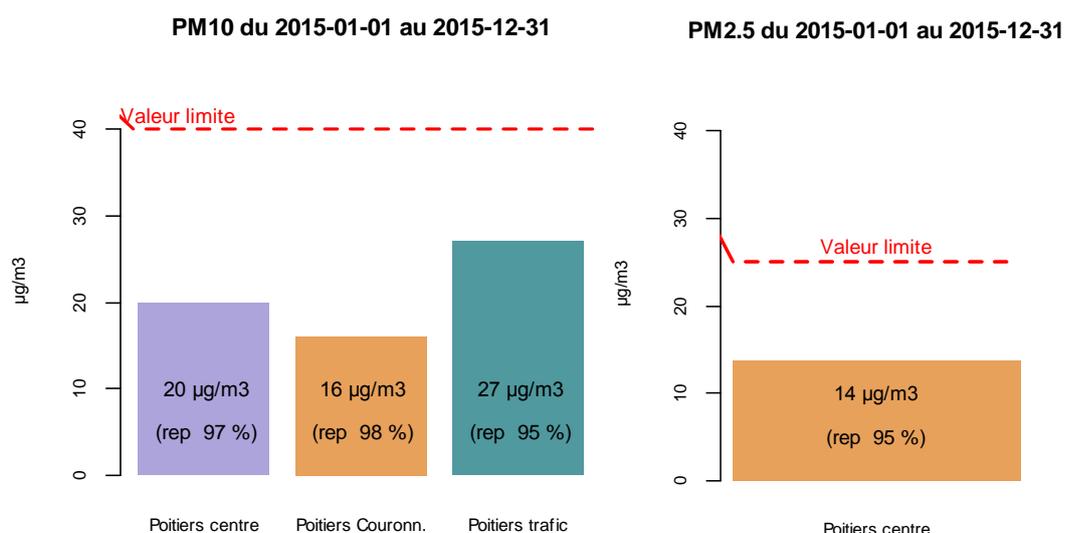


Figure 2 : moyennes annuelles et taux de fonctionnement - PM₁₀ et PM_{2.5} - Poitiers - 2015

Les valeurs réglementaires établies à partir de moyennes annuelles ne permettent pas de pointer les disparités saisonnières. Les concentrations de particules sont généralement plus importantes en hiver et au printemps. En 2015, plusieurs dépassements du seuil d'information/recommandations et du seuil d'alerte ont été mesurés.

Au total, 11 journées ont dépassé le niveau d'information et de recommandations pour les PM₁₀ (50 µg/m³ en moyenne sur 24 heures), et 2 journées ont dépassé le niveau d'alerte (80 µg/m³ en moyenne sur 24 heures). L'ensemble de ces épisodes de pollution a eu lieu entre le 1^{er} janvier et le 22 mars 2015.

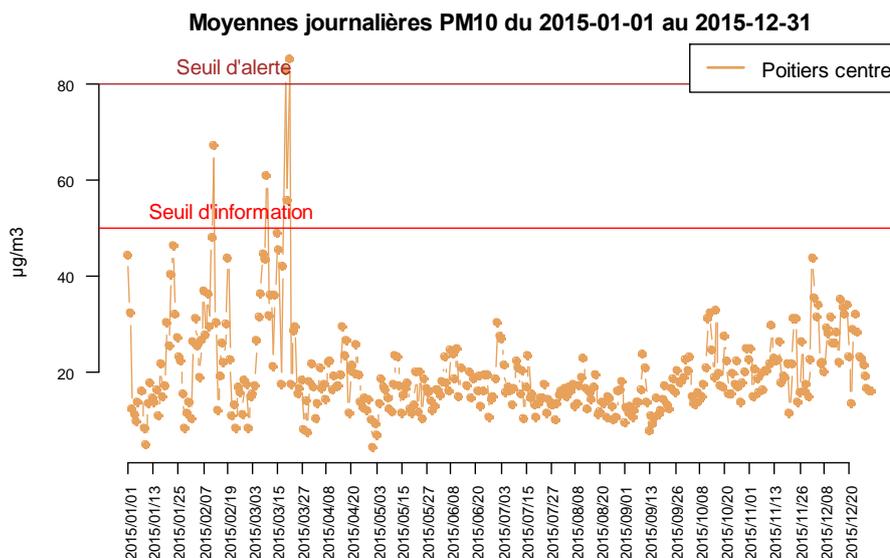


Figure 3 : moyennes journalières sur Poitiers centre - PM10 - 2015

Hormis les cas particuliers des épisodes de dépassements de seuils, on observe une évolution saisonnière des concentrations, avec des valeurs classiquement plus élevées en hiver en raison d'émissions supplémentaires liées entre autre au chauffage, et à des conditions climatiques plus favorables à l'accumulation des polluants.

Les concentrations du mois de mars 2015 sont particulièrement élevées en raison des épisodes de pollution enregistrés sur cette période. La part des particules inférieures à 2.5 µm (PM2.5) dans les PM10 évolue aussi au cours de l'année, illustrant l'évolution au cours de l'année des sources contributrices et de la composition des particules associées.

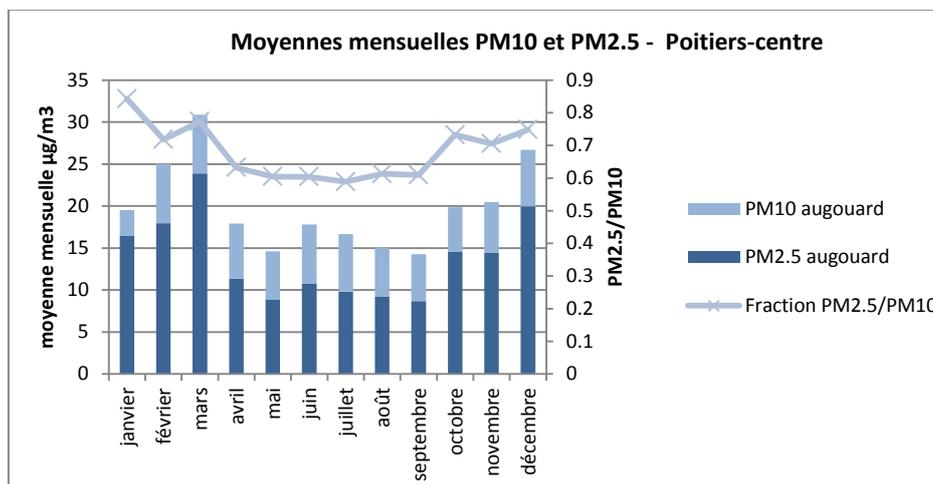


Figure 4 : moyennes mensuelles PM10 et PM2.5 – Poitiers centre - 2015

Chapitre 2 : Etude de la contribution des sources de combustion aux concentrations de particules fines (AE33 - mesure du Black Carbon)

L'étude des sources de combustion par la mesure du Black Carbon (BC) se base sur deux hypothèses :

- Le BC n'est émis que par combustion de la matière fossile ou de la biomasse
- La matière organique présente des propriétés d'absorption spécifique dans l'Ultraviolet qui permet de différencier les deux origines : **BCff, principalement associée en zone urbaine au trafic routier** et **BCwb principalement associée en zone urbaine au chauffage au bois**.

Les deux graphiques suivants représentent les concentrations horaires de BCff et BCwb mesurées tout au long de l'année 2015 sur Poitiers.

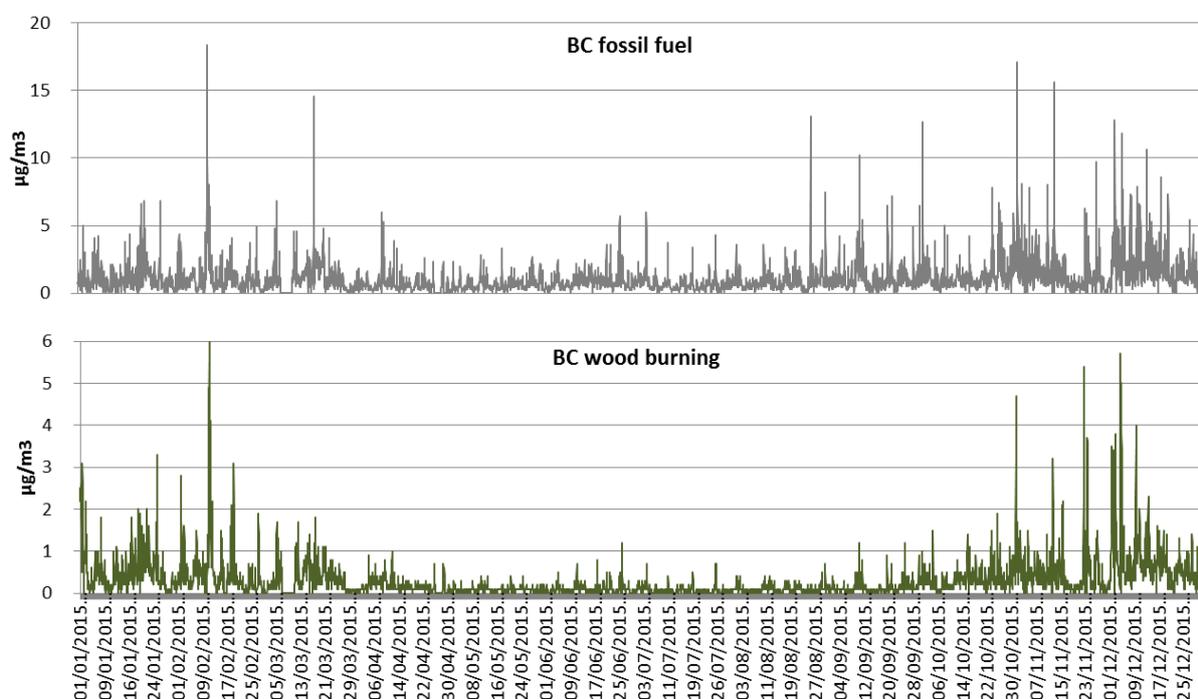


Figure 5 : mesures horaires BCff et BCwb – Poitiers Centre - 2015

Alors que les concentrations de BCff sont présentes toute l'année, avec une variabilité élevée liée à la variabilité du trafic, les concentrations de BCwb, issue de la combustion de bois sont nettement plus élevées durant la période hivernale, du mois de septembre au mois d'avril, qui correspond à la période de chauffage.

Bien que la variabilité saisonnière de BCff soit moins marquée, on constate également des valeurs un peu plus élevées pendant l'hiver qui s'explique principalement par l'impact des conditions météorologiques, plus favorables à l'accumulation des polluants durant la période hivernale.

	FIX_INT_14_022	21	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
--	----------------	----	---

Estimation des concentrations de particules liées à la combustion à partir de la mesure du Black Carbon

En utilisant un rapport moyen BC/PM issu de la bibliographie pour chacun des 2 sources, on estime les concentrations de particules issues de la combustion de bois et du trafic à partir des mesures de BC.

Sur Poitiers, les coefficients utilisés sont :

$$\text{PMwb (particules PM}_{2.5}\text{ liées à la combustion du bois)} = 10 \times \text{BCwb}$$

$$\text{PMff (particules PM}_{2.5}\text{ liées au trafic)} = 2 \times \text{BCff}$$

Les valeurs de PMff et PMwb doivent être vues comme des ordres de grandeurs entachés d'une forte incertitude associée aux coefficients de conversion moyens utilisés. Elles permettent néanmoins d'appréhender de manière plus concrète la contribution des sources de combustion aux concentrations de particules présentes dans l'air.

L'évolution des concentrations au cours de la journée pour les PMff (Figure 6) est typique d'une influence liée au trafic, avec deux pics journaliers : le matin, plus marqué, et le soir plus étalé. Le profil des PMwb reflète les usages associés au chauffage bois : les appareils de chauffage sont mis en route le soir et fonctionnent une bonne partie de la nuit, où l'on trouve les concentrations de PMwb les plus élevées. Un second pic de moindre importance est observé le matin, il correspond vraisemblablement à une nouvelle alimentation matinale des appareils de chauffage.

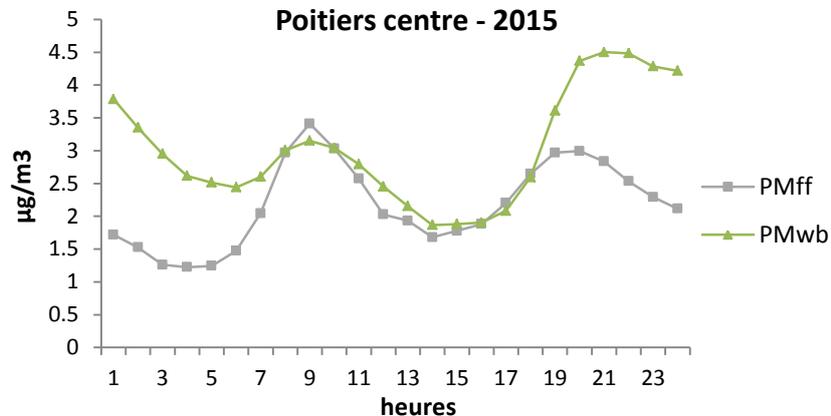


Figure 6 profil horaire moyen sur Poitiers centre - 2015

En moyenne sur l'année, les sources de combustion représenteraient moins de 40% de l'origine des particules mesurées sur le centre de Poitiers. Cette contribution varie fortement selon les saisons (Figure 7) ; elle est la plus forte durant les mois de novembre à février, là où les besoins en chauffage sont les plus importants.

Contrairement aux idées reçues, la combustion de carburant automobile n'est pas la principale source à l'origine des particules présentes dans la pollution de fond urbaine d'une ville comme Poitiers ; elle est selon les mois à l'origine de 1.2 à 4 µg/m³ en PM_{2.5}, soit de 10 à 24% des particules PM_{2.5}.

Les valeurs plus élevées en particules PM_{2.5} du mois de mars 2015, qui ont donné lieu à des épisodes de dépassements de seuil réglementaire, n'ont pas eu pour origine une source de combustion.

Les sources contributrices ont été identifiées par d'autres moyens de mesure dont les résultats sont détaillés dans les chapitres suivants.

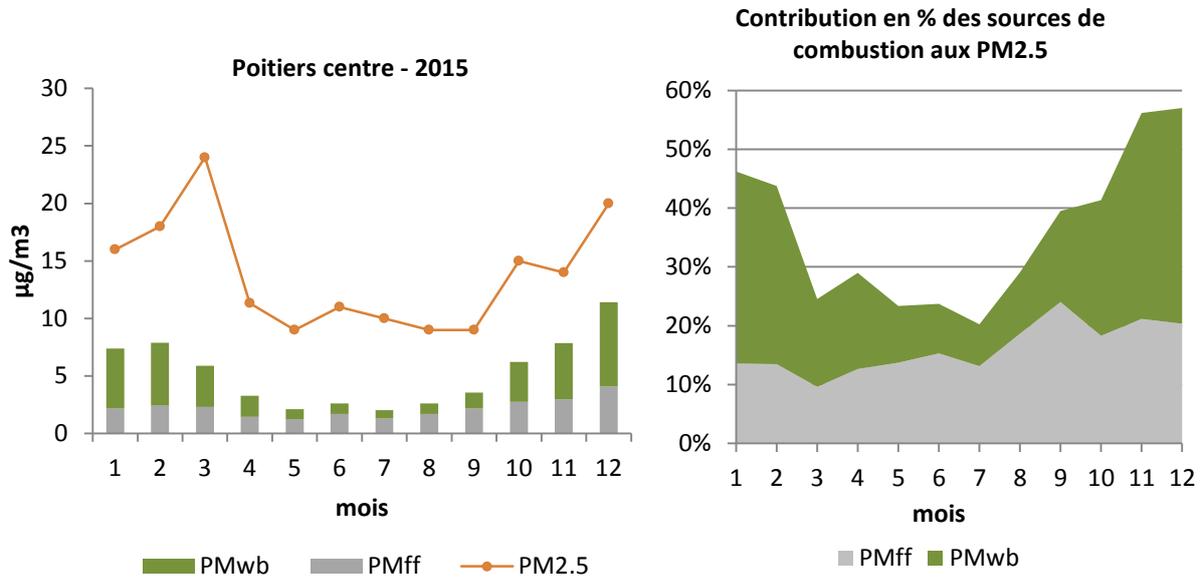


Figure 7 profil mensuel moyen et contribution des sources de combustion sur Poitiers centre – 2015

Poitiers centre 2015 PM2.5

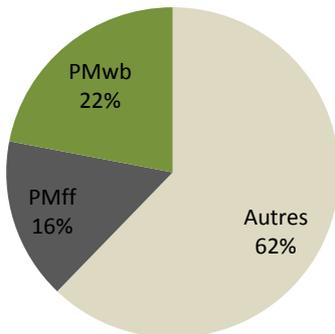


Figure 8 : contribution moyenne annuelle des sources de combustion au PM2.5 sur Poitiers – centre - 2015

L'épisode de pollution du 31 décembre 2014 au 1^{er} janvier 2015

Durant la nuit du 31 décembre au 1^{er} janvier 2015, les concentrations de particules ont fortement augmenté, dépassant le seuil de 50 µg/m³ pour les PM10 et entraînant en conséquence le déclenchement d'un épisode de pollution le 1^{er} janvier. Les températures étaient particulièrement froides durant cette nuit (de -2 à -5°C).

Cet épisode a été d'ampleur limitée ; sur la région, seul le département de la Vienne était concerné. Des concentrations élevées ont également été observées sur Niort durant cette nuit, mais sans dépassements de seuil. Dès le lendemain, les températures remontaient nettement, l'épisode n'a pas connu de suite sur la région.

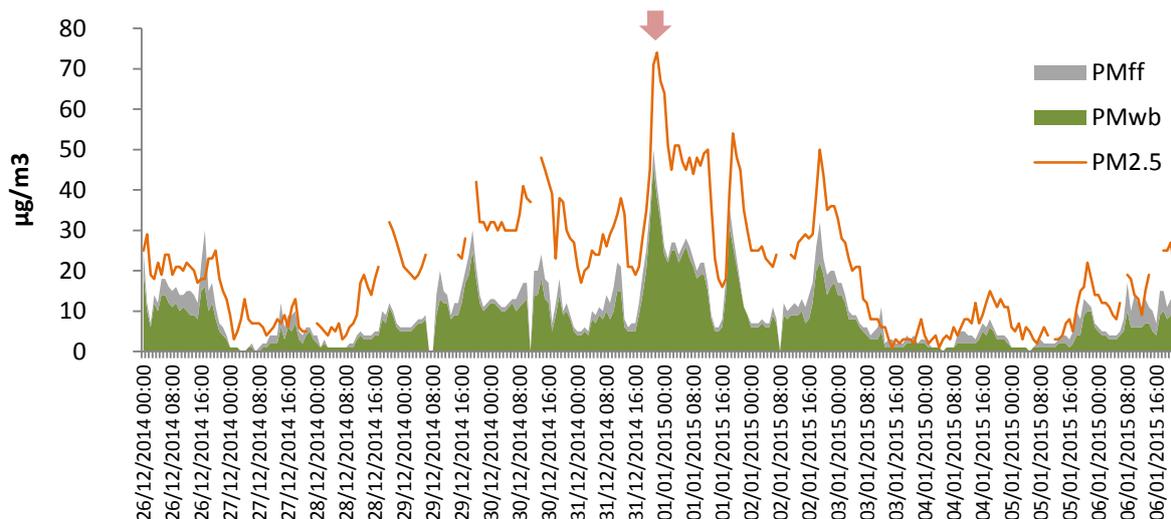


Figure 9 : moyennes horaires PMwb, PMff, PM2.5 – Poitiers centre , du 26/12/2014 au 06/01/2015

La source majoritaire à l'origine des particules durant cet épisode est la combustion de biomasse, principalement représentée sur l'agglomération par le chauffage au bois. Les températures sont descendues très bas durant la nuit du 31 au 1^{er}, entraînant une activation des moyens de chauffage, incluant le chauffage au bois, dont on voit la contribution augmenter à partir de 18H. Le phénomène a été accentué par une couche d'inversion des températures durant la nuit qui a largement contribué à l'augmentation des concentrations.

Cet exemple en particulier montre que la contribution du chauffage au bois aux concentrations de particules peut être ponctuellement élevée, en particulier lorsque les températures descendent dans le négatif. La source peut être alors à l'origine d'épisode de dépassements de seuil d'information ou d'alerte ; c'est même un cas assez fréquent en France aux environs des mois de décembre ou janvier.

Chapitre 3 : Bilan de la composition chimique des particules durant l'année 2015 (analyse des prélèvements journaliers)

Selon les évaluations menées à l'aide de la mesure du Black Carbon, les sources de combustion représenteraient moins de 40% de l'origine des particules mesurées sur le centre de Poitiers (cf Chapitre 2).

D'autres méthodes d'analyse permettent de reconstituer de manière plus détaillée la composition et l'origine des particules. Sur Poitiers, durant toute l'année 2015, des prélèvements journaliers sur filtres ont été réalisés tous les trois jours, puis analysés pour une trentaine de composés (EC/OC, espèces ioniques, sucres,...).

3.1 Bilan des analyses de particules PM10

Une première exploitation simple des données d'analyses consiste à réaliser un bilan de masse des composés analysés, en utilisant pour certaines catégories de composés (sels marins, poussières minérales, OM) des facteurs de conversion issus de la littérature (cf paragraphe 1.1.2).

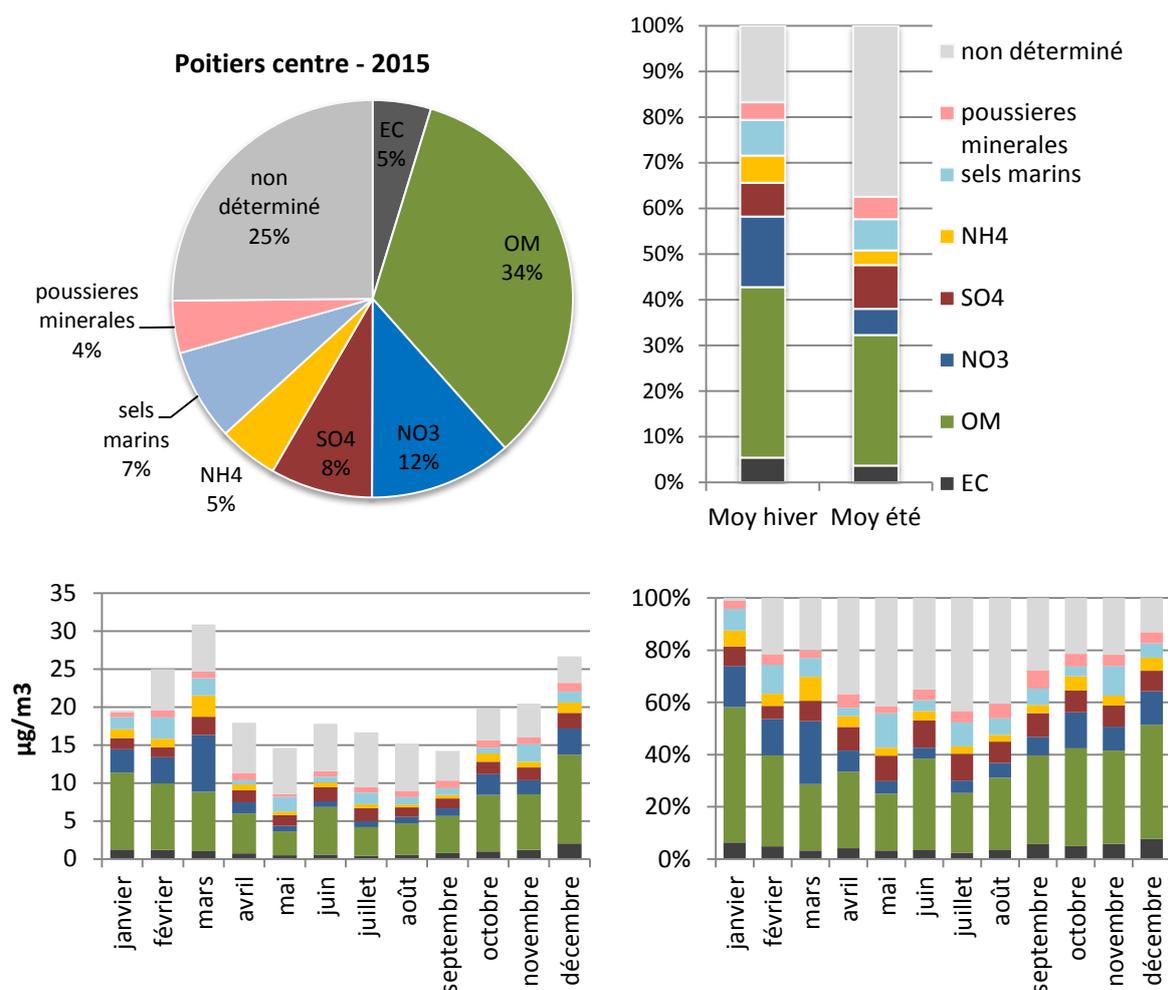


Figure 10 : Composition moyenne des PM10 sur Poitiers centre (2015) (Hiver : de octobre à mars, Été : d'avril à septembre)

Les matières carbonées (EC, OM) : Il s'agit de la principale catégorie de composés mesurée sur Poitiers. Le carbone élémentaire (proche du Black Carbon, mais analysé par une technique différente) représente à l'échelle annuelle 5% des particules PM10 sur Poitiers centre. La matière organique (OM) dont la masse est évaluée à partir de la mesure du carbone organique (OC) représente quant à elle 34% des PM10 de Poitiers. La matière organique est un mélange complexe de composés issue de sources très diverses, autant biogéniques (matière végétale, pollen,..) qu'anthropique (combustion de biomasse,...) ; elle peut avoir des origines primaires ou être formée de manière secondaire à partir de composés organiques volatils (COV). Une partie de la matière organique peut être reconstituée à partir d'une analyse détaillée de certains de ses composés constituant ;

- Certains polyols (mannitol, sorbitol, glucose, arabitol) sont reconnus comme étant des traceurs d'émissions de sources biogéniques primaires.
- Des monosaccharides anhydrides (lévoglucosan, mannosan, galactosan) sont des traceurs spécifiques de la combustion de biomasse

La Figure 11 représente la contribution de ces deux familles de traceurs à la masse totale de matière organique au cours de l'année.

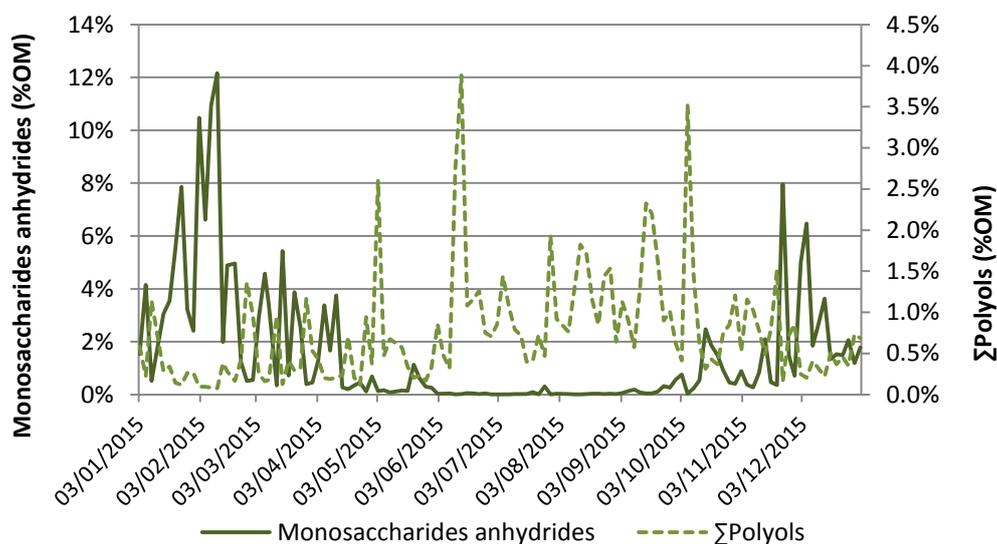


Figure 11 : concentrations journalières – Poitiers centre - 2015

La contribution des deux catégories de traceurs a une forte variabilité saisonnière ; la part des traceurs de la combustion de biomasse est élevée en hiver mais quasi-nulle entre la fin du mois d'avril et le début du mois d'octobre. A l'inverse, la contribution des Polyols est nettement plus importante durant l'été, en lien avec une végétation plus développée et une activité biogénique plus élevée durant les mois les plus chauds et les plus ensoleillés de l'année.

La portion plus élevée de particules non déterminées durant l'été (37% contre 17% en hiver) pourrait être en partie liée à la différence de composition de OM, avec des coefficients de conversion OC/OM moins bien adaptés aux particules biogéniques primaires ou secondaires.

Le nitrate et sulfate d'ammonium : avec 25% des PM10 à l'échelle annuelle, ce sont les seconds contributeurs à la masse totale des particules sur Poitiers. Il s'agit de particules secondaires volatiles, formées à partir de polluants gazeux, issues de sources d'émissions connues (transports, agriculture...) mais dont la part des contributions est difficilement quantifiable.

	FIX_INT_14_022	26	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	----	---

On observe ici encore une variabilité saisonnière importante des concentrations et de leur contribution aux PM₁₀. Les niveaux de nitrate d'ammonium sont sensiblement plus élevés durant la période hivernale, avec un « pic » au mois de mars. Il s'agit d'un composé semi-volatile, dont la formation va être favorisée par des températures basses, donc hivernales. Les valeurs du mois de mars sont à mettre en relation avec les épisodes de pollution observés à cette période ; les concentrations de nitrate d'ammonium élevées sont régulièrement observées durant cette période de l'année, en raison de la conjonction de plusieurs phénomènes dont des conditions météorologiques favorables ou des épandages d'engrais azotés. A noter que les valeurs plus faibles mesurées durant l'été pourraient être en partie expliquées par des artefacts liés à des pertes par volatilisation lors du prélèvement du nitrate d'ammonium (Querol et al., 2001).

L'acide nitrique a une pression de vapeur saturante assez élevée et il reste donc préférentiellement en phase gazeuse. Cependant, il peut réagir avec l'ammoniac et former une espèce semi-volatile, le nitrate d'ammonium (NH₄ NO₃).

Il convient de noter que l'ammoniac va préférentiellement neutraliser l'acide sulfurique avant de réagir avec l'acide nitrique. Par conséquent, la formation de nitrate d'ammonium n'aura lieu que s'il y a suffisamment d'ammoniac pour d'abord neutraliser l'acide sulfurique et ensuite mener à un dépassement de la constante d'équilibre du nitrate d'ammonium.

Sels marins et poussières minérales

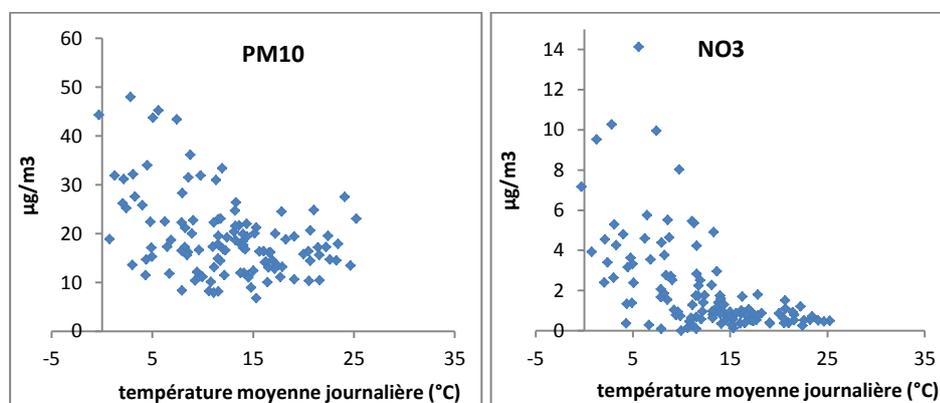
En utilisant les coefficients issus de la littérature (cf paragraphe 1.1.2), on estime à 7% la quantité de PM₁₀ issue des sels marins, et 4% la quantité de poussières minérales. Ces dernières sont issues de la remise en suspension des sols ainsi que de l'import de particules crustales (e.g Sahariennes).

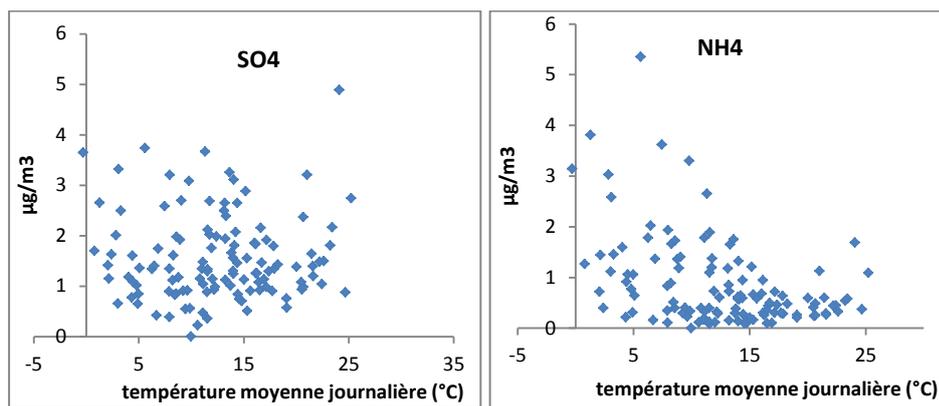
L'estimation de ces concentrations est très dépendante des coefficients de calcul utilisés, l'évaluation de ces concentrations sur Poitiers est affinée par la suite par traitement PMF (cf chapitre 3.3).

3.2 Impact de la température sur la composition des particules

Les concentrations de particules dans l'air vont être fortement dépendantes des conditions météorologiques, qui influencent l'activité des sources émettrices, les réactions chimiques impliquant les constituants des particules et la dispersion/accumulation des polluants.

Entre autres paramètres, l'influence de la température ambiante est particulièrement visible sur les concentrations de la plupart des constituants des particules.





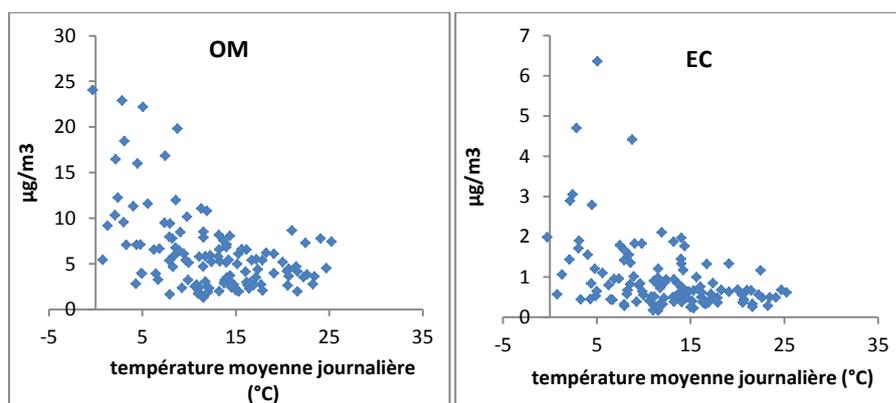
D'une manière globale, les concentrations de particules PM10 sont plus élevées pour les températures les plus froides, ce qui correspond aux concentrations généralement plus élevées mesurées en périodes hivernale. Mais les différents composés constituant des particules n'ont pas le même comportement vis-à-vis de la température ambiante.

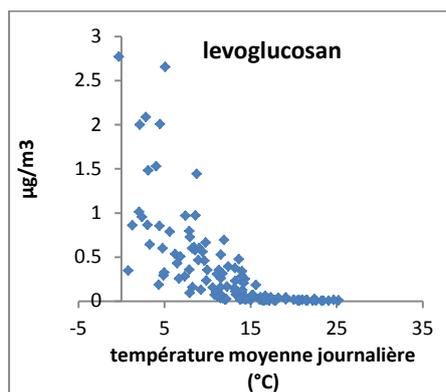
Les particules secondaires de nitrate d'ammonium, en raison de leur caractère semi-volatil ont des concentrations sensiblement plus élevées pour les températures les plus froides ; les concentrations de nitrate en particulier sont très faibles au-dessus des 15°C.

Le comportement du sulfate semble être moins directement lié aux températures, mais on le trouve également dans des concentrations élevées au-dessus de 20°C ; il est alors formé, entre autre, à partir de composés soufrés issus d'émissions biogéniques, favorisées par un climat chaud et ensoleillé.

La relation entre les températures et les concentrations de matière organique et carbone suie (OM et EC) est peu marquée entre 7 et 27 °C, intervalle sur lequel les concentrations sont assez homogènes. On enregistre en revanche pour les deux composés des valeurs ponctuelles élevées en dessous de 5°C, qui peuvent correspondre à des épisodes hivernaux où les inversions de températures favorisent l'accumulation des polluants, et où la demande en chauffage et les émissions associées sont plus importantes.

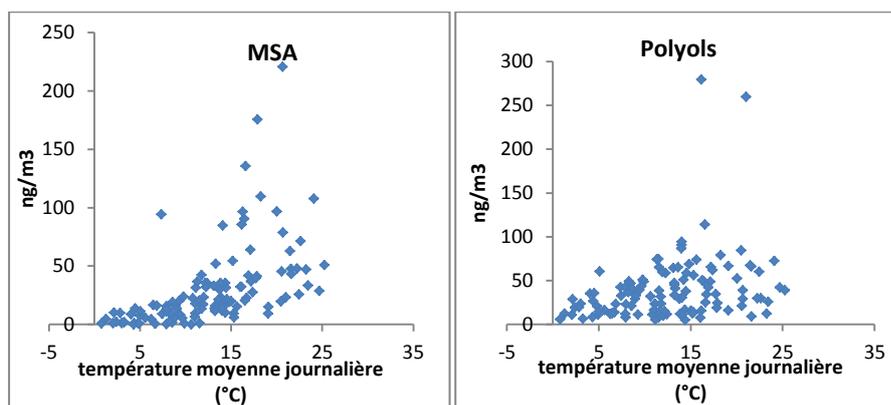
Le lien est beaucoup plus directe entre température et lévoglucosan, traceur de la combustion de biomasse et donc du chauffage au bois ; il n'est présent qu'à l'état de trace au-dessus de 15°C, mais en deçà, les concentrations augmentent avec la diminution des températures.





Deux autres composés biogéniques ont des comportements inverses : le MSA et les polyols (arabitol, sorbitol, glucose, mannitol).

Le MSA ou acide méthylsulfonique est l'un des produits de dégradation du DMS émis par le phytoplancton, dont l'activité et la croissance va être favorisée par des températures chaudes et un temps ensoleillé. Les 4 polyols pris en compte ici sont des traceurs des particules organiques primaires (spores, pollens, fragments de végétaux,...). Les concentrations de ces composés sont traditionnellement plus importantes durant l'été, de juin à septembre, où le développement de la végétation est le plus important, période qui correspond aux températures les plus élevées.



3.3 Etude statistique des source de PM10 par PMF (Positive Matrix Factorization)

Le bilan de masse présenté au chapitre est un traitement simplifié, dépendant des coefficients choisis et qui ne renseigne que partiellement sur l'origine des particules. C'est pourquoi un traitement plus poussé par PMF a été mené sur les résultats des analyses de filtres prélevés sur Poitiers durant l'année 2015, à l'aide du logiciel EPA PMF 5.0.

Cet outil d'analyse multivariée utilise les concentrations mesurées et l'incertitude de mesure associée pour résoudre l'équation de bilan de masse :

$$X = G \times F + E$$

X : matrice de données

F : matrice de profils de sources

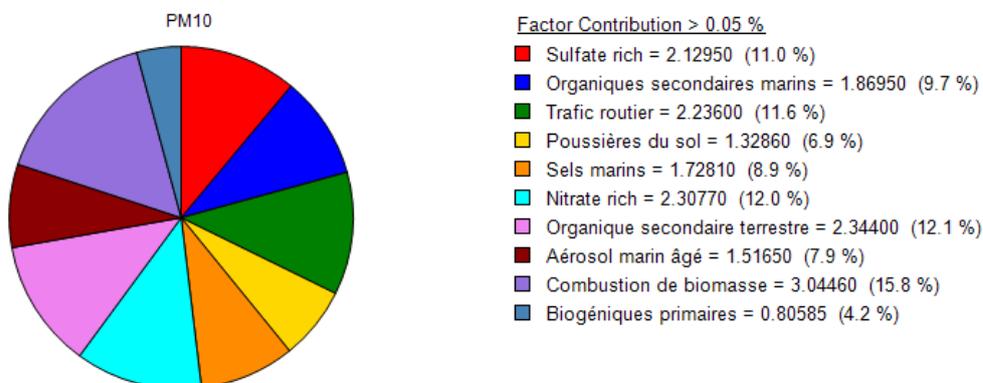
G : matrice représentant la contribution de chaque source dans X

E : matrice des résidus

	FIX_INT_14_022	29	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	----	---

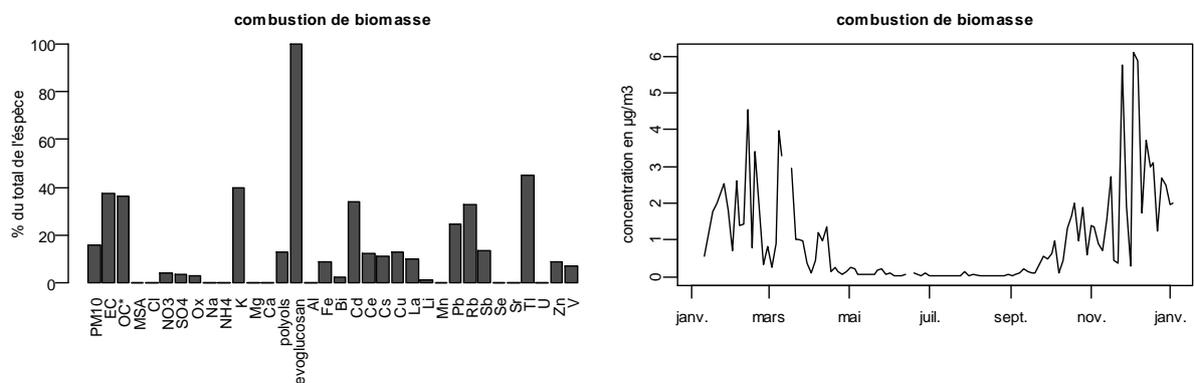
3.3.1 Composition des particules PM10 et facteurs (profils des sources) retenus

10 facteurs sont retenus :

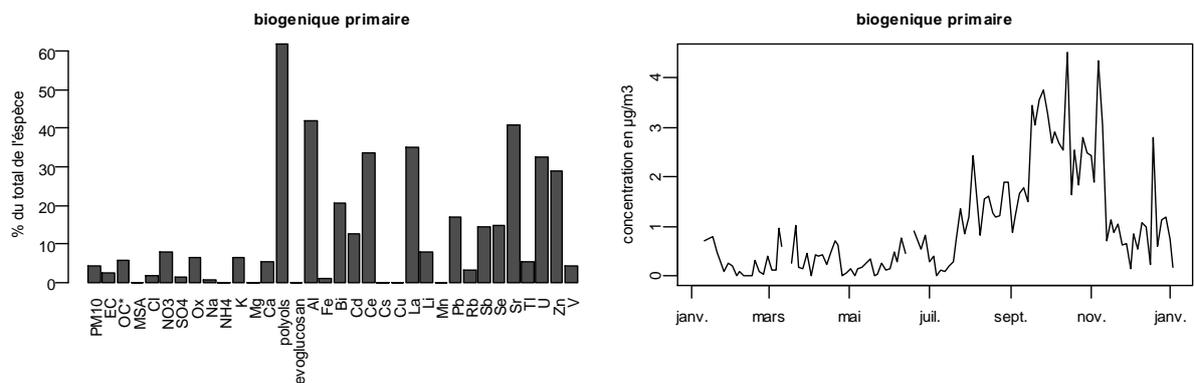


- **La combustion de biomasse**, principalement représentée au centre de Poitiers par le chauffage au bois, avec des valeurs élevées en lévoglucosan et potassium (K).

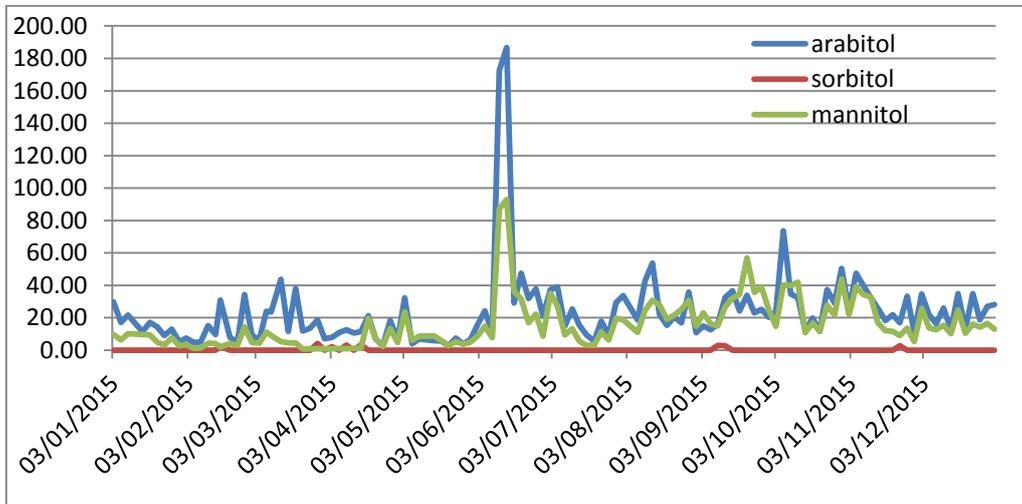
Elle représente 16 % des particules PM₁₀ mesurées sur Poitiers. L'évaluation de la fraction des PM_{2.5} liées à la combustion de biomasse par la mesure du Black Carbon est évaluée à 22% soit une part sensiblement supérieure à celle évaluée ici ; l'écart est en grande partie expliqué par les incertitude liée aux évaluations, mais il est logique d'avoir une contribution plus faible pour les PM₁₀, dont la fraction particulaire la plus grossière (entre 2.5 et 10 µm) est constituée par des sources d'origines autre que la combustion (sol, sels, particules végétales,...).



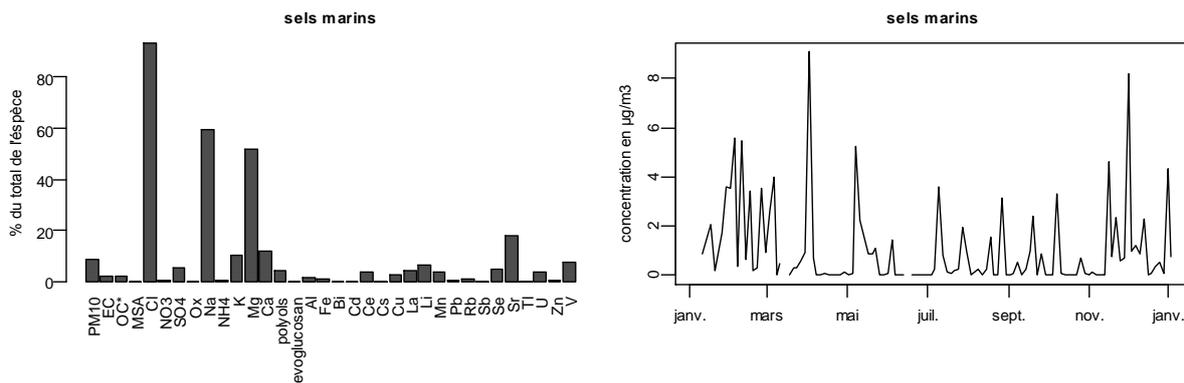
- **Les aérosols biogéniques primaires** : il s'agit de matières organiques, telles que les pollens, débris végétaux, spores...



Les traceurs pour cette source sont des sucres polyols (arabitol, sorbitol, mannitol). Ils comportent un certain nombre de métaux associés (arsenic,...) en raison de la bioaccumulation de ces éléments par les végétaux. Ces particules représentent sur Poitiers, soit en zone urbaine, 4 % des PM10.

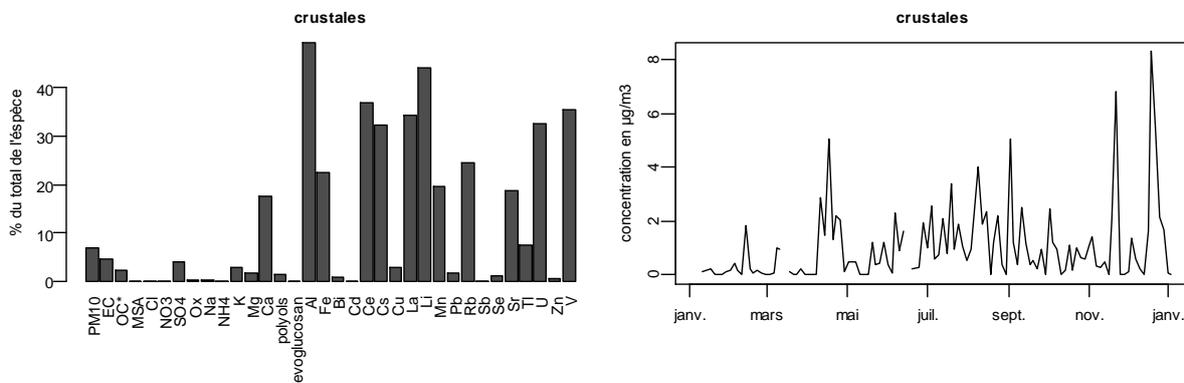


- **Les sels marins** : principalement représentés par le chlorure de sodium (NaCl), également riche en magnésium. Ils représentent sur Poitiers 9% des PM10.



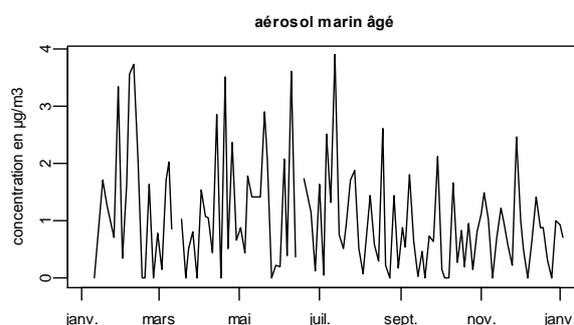
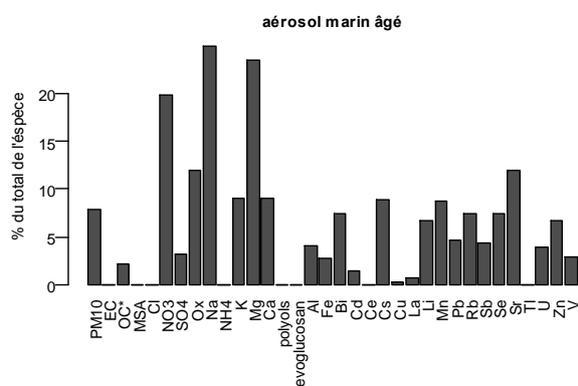
- **Les particules du sol (crustale)** : elles sont identifiées grâce à la présence de calcium et de métaux tels que l'aluminium, le fer, le strontium ou le titane.

Elles représentent 6.5% des particules PM10 mesurées dans l'air du centre de Poitiers.

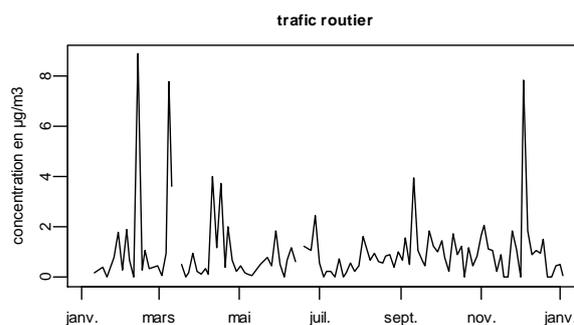
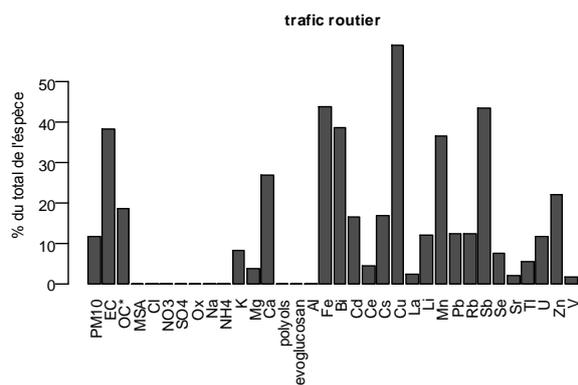


- **Aérosols marin âgé** : il est caractérisé par la présence de sodium et magnésium, et par la quasi absence de chlore. La part importante de Nitrate associé au facteur tend à montrer que ces

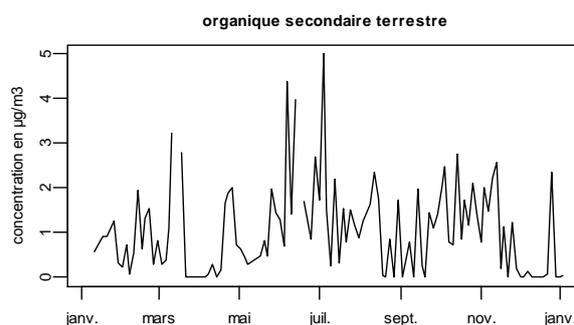
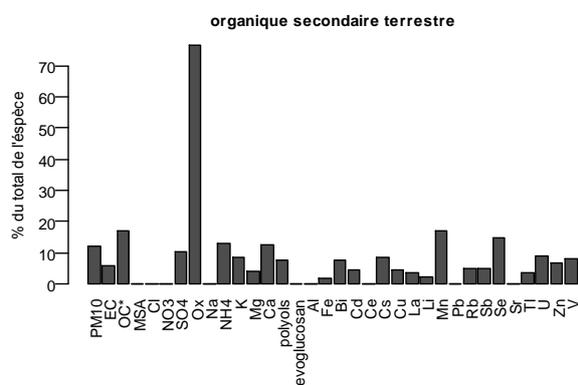
aérosols se sont « enrichis » de composés azotés potentiellement issus de sources de combustion anthropiques. Il s'agit d'une source non négligeable de particules PM10 sur Poitiers (8% des PM10).



- **Trafic routier** : les particules associées à la source sont non seulement celles issues de la combustion, mais également celles liées à la remise en suspension des sols lors du passage des véhicules. On y trouve aussi bien du carbone élémentaire (EC) que du calcium ou des métaux comme le fer, le Bismuth, le cuivre, l'antimoine, le manganèse, le nickel ou le zinc. Elles représentent 12% des particules PM10 de Poitiers centre.

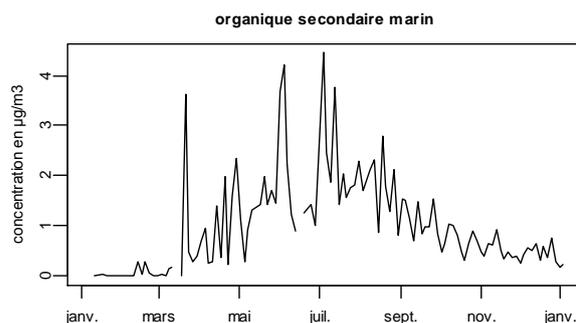
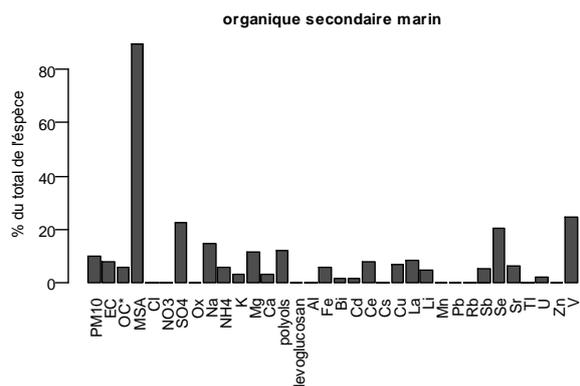


- **Particules organiques secondaires** : formées notamment à partir des monoterpènes et isoprènes émis par la végétation. Ils représentent sur Poitiers 12% des PM10.

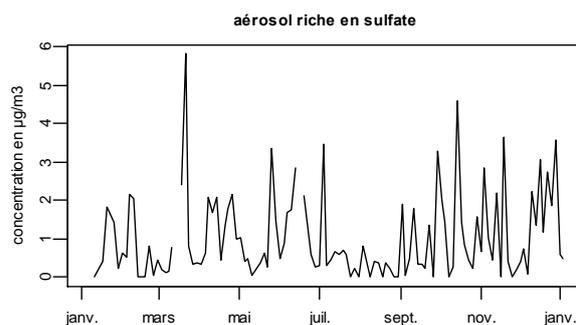
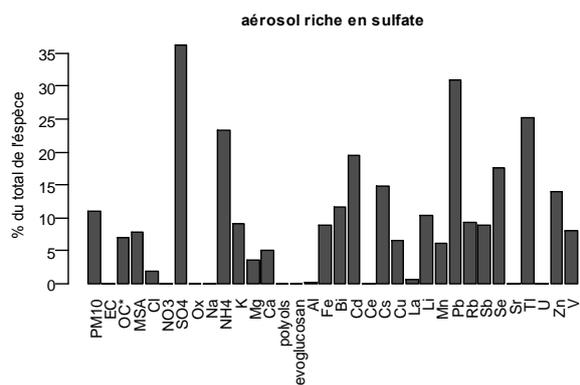
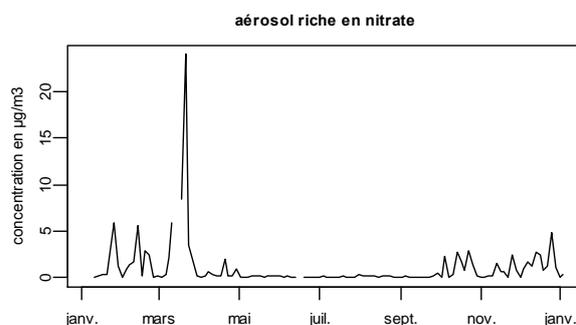
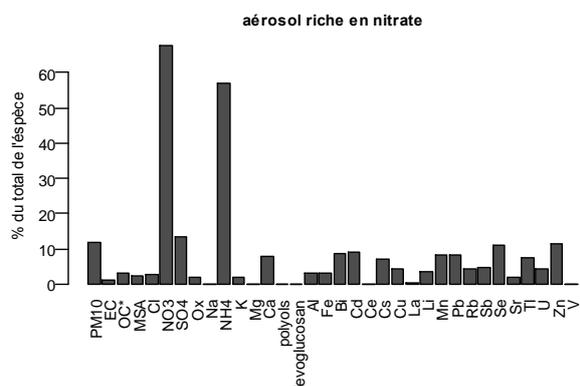


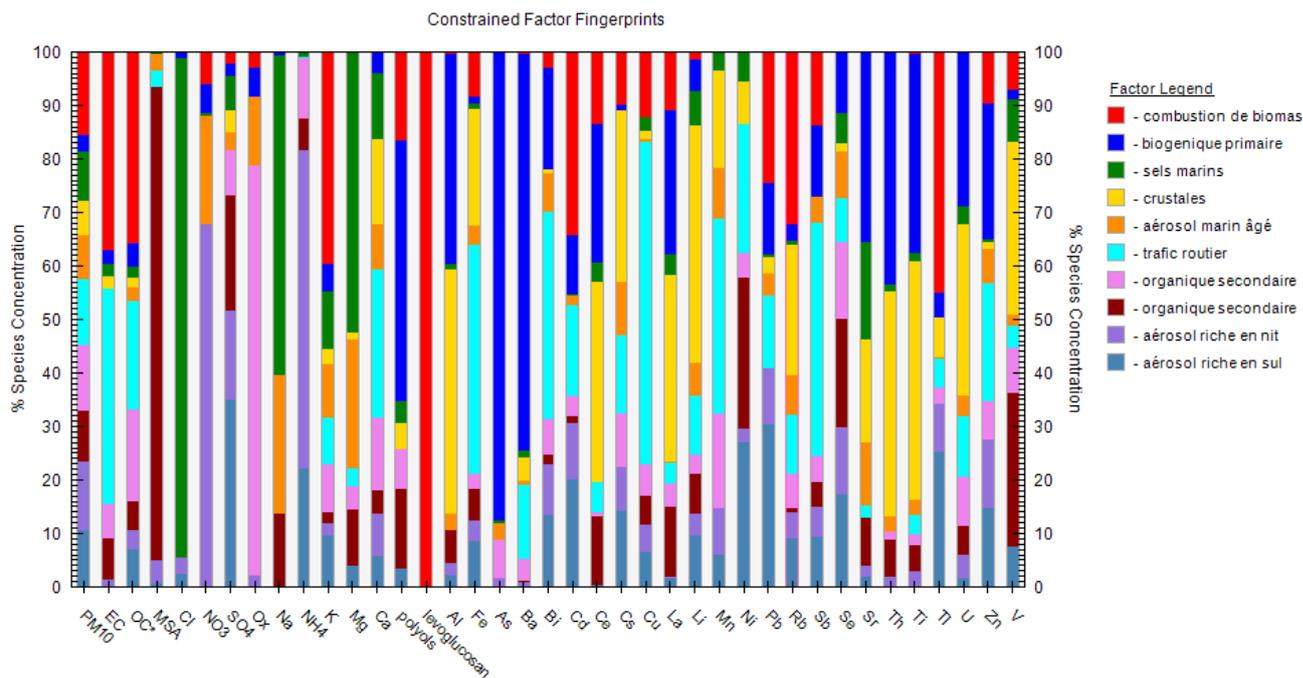
- **organiques secondaires marins** : la source a comme traceur le MSA ou acide méthylsulfonique, acide organique de formule brute CH₄O₃S. L'apport des émissions biogéniques marines (principalement aérosols organiques secondaires résultant de la dégradation du DiMéthylSulfate (DMS) émis par le phytoplancton) est de 10% sur le centre de Poitiers.

: Bilan de la composition chimique des particules durant l'année 2015 (analyse des prélèvements journaliers)



- **Aérosols riches en sulfate et aérosols riches en nitrate** : ce sont des aérosols secondaires, qui représentent à eux deux 23 % des particules PM10. Le sulfate, le nitrate et l'ammonium sont les trois espèces inorganiques majeures qui constituent la fraction inorganique secondaire des particules atmosphériques. Le sulfate est issu de l'oxydation du dioxyde de soufre (SO₂) en acide sulfurique (H₂SO₄) et le nitrate de l'oxydation du dioxyde d'azote (NO₂) en acide nitrique (HNO₃). L'ammonium provient directement de l'association de l'ammoniac (émis principalement des activités agricoles) avec le sulfate et le nitrate.





3.3.2 Synthèse des enseignements issus de la PMF sur les sources de particules

Malgré la localisation du site en zone urbaine, environ la moitié des particules fines PM10 mesurées sur le centre de Poitiers proviennent de sources naturelles, dont :

- Les poussières du sol pour 7 %
- Les sels marins, récents 9% ou âgés 8%
- Les éléments végétaux (pollens, spores, débris de végétation,..) : 4%
- Les composés organiques émis par le phytoplancton : 10%
- Les composés organiques émis par la végétation terrestre : 12%

Bien que Poitiers soit situé à environ 150km de la façade Atlantique, 27% des PM10 présentes dans l'air en moyenne sur l'année ont une origine marine (un peu moins si l'on considère que les 8% d'aérosols marins âgés se sont enrichis avec des particules et composés de natures autres).

Parmi les sources anthropiques de particules, les deux principales sources de combustion, trafic et chauffage au bois, représentent respectivement 12% et 16% des PM10. Les 12% liés au trafic ne contiennent pas seulement les particules issues des pots d'échappement mais aussi celles issues de la remise en suspension des sols lors du passage des véhicules.

Ces valeurs sont un peu plus faibles que celles données par la mesure du black carbone sur les PM2.5, qui comptaient les sources de combustions à 16% pour le trafic, et 22% pour le chauffage au bois. Ces écarts sont expliqués par la différence des méthodes de mesure et leurs incertitudes associées, et par les différences de tailles de particules prises en compte (PM2.5 dans le cas du Black Carbon, PM10 dans le cas de la PMF). Les proportions restent cependant proches, et confirment la prédominance du chauffage au bois dans les origines de particules issues de la combustion.

L'ensemble des particules secondaires sur Poitiers, c'est-à-dire des particules formées dans l'atmosphère à partir de polluants gazeux, représente 45% des PM10 à l'échelle annuelle.

	FIX_INT_14_022	34	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	----	---

: Bilan de la composition chimique des particules durant l'année 2015 (analyse des prélèvements journaliers)

Dans cette catégorie, on trouve les particules secondaires riches en sulfate et en nitrate (23%) qui représentent une part moyenne élevée des PM10, voir très élevée lors de certains épisodes de pollution typique du printemps. Les sources de combustion (routières, résidentielles et industrielles) participent aussi indirectement à leur formation puisqu'elles sont source de NO₂ et SO₂, polluants précurseurs. Ces deux catégories de particules secondaires ne peuvent se former qu'en présence de quantité suffisante d'ammoniac dans l'air, dont l'origine est très majoritairement agricole.

	FIX_INT_14_022	35	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	----	---

Chapitre 4 L'ACSM : mesure en continue par spectromètre de masse

L'étude des sources de particules par prélèvement tel que décrite au Chapitre 3 est la plus complète puisqu'elle permet l'étude fine de leur composition à travers l'analyse d'une trentaine de composés. Elle présente en revanche plusieurs inconvénients : elle nécessite d'importants moyens humains pour assurer les prélèvements, elle est coûteuse et on ne peut disposer des résultats qu'en différé (plusieurs semaines après le prélèvement). C'est en particulier ce dernier argument qui rend cette méthode peu adaptée à l'aide à la décision en cas d'épisode de pollution.

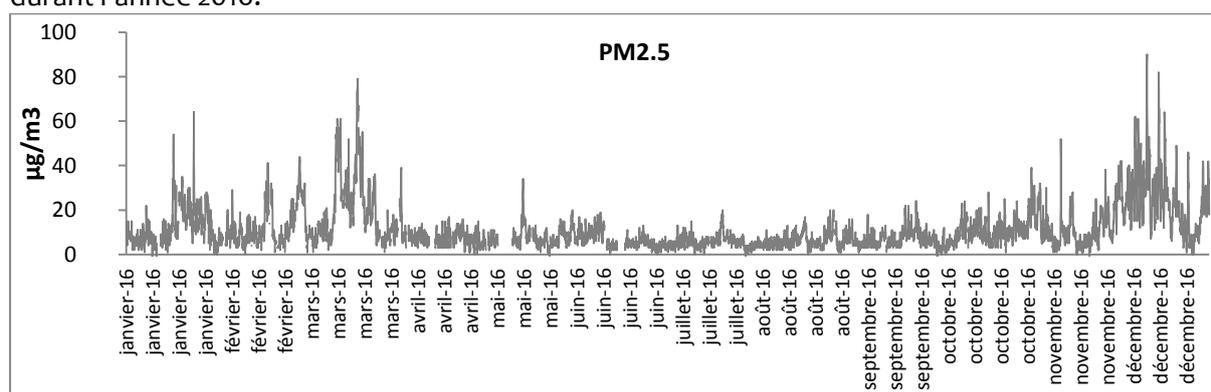
Pour assurer l'étude de composition et des sources de particules en temps réel, Atmo Nouvelle-Aquitaine a complété l'équipement de la mesure des particules sur Poitiers centre par un spectromètre de masse : l'ACSM (*Aerosol Chemical Speciation Monitor*). L'ACSM permet une mesure en continue des composantes chimiques majeures des particules submicroniques non-réfractaires (OM , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , Cl^-).

Les composés mesurés par l'ACSM ont une représentativité (supra)-régionale, les valeurs mesurées sont applicables à un territoire beaucoup plus vaste que Poitiers centre, dont l'étendue varie en fonction des épisodes de pollution. Dans ce contexte de large représentativité spatiale, Atmo Nouvelle-Aquitaine et le LCSQA collabore étroitement pour la mise en œuvre de cet instrument à Poitiers.

4.1 Bilan des mesures ACSM

4.1.1 Bilan partiel des mesures de janvier à décembre 2016

Les mesures par ACSM sont réalisées sur Poitiers depuis le 1^{er} janvier 2016. La figure suivante représente les concentrations horaires de particules PM_{2.5} mesurées sur le centre de Poitiers durant l'année 2016.



Durant les premiers mois de la mise en œuvre de l'ACSM, des incidents techniques à répétition ont entraîné la perte de plusieurs jours de données. Les graphiques suivants apparaissent en conséquence avec un nombre relativement élevé de valeurs manquantes. A noter que les problèmes rencontrés sont aujourd'hui résolus, et ne devraient plus entraîner la perte de valeurs.

	FIX_INT_14_022	36	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	----	---

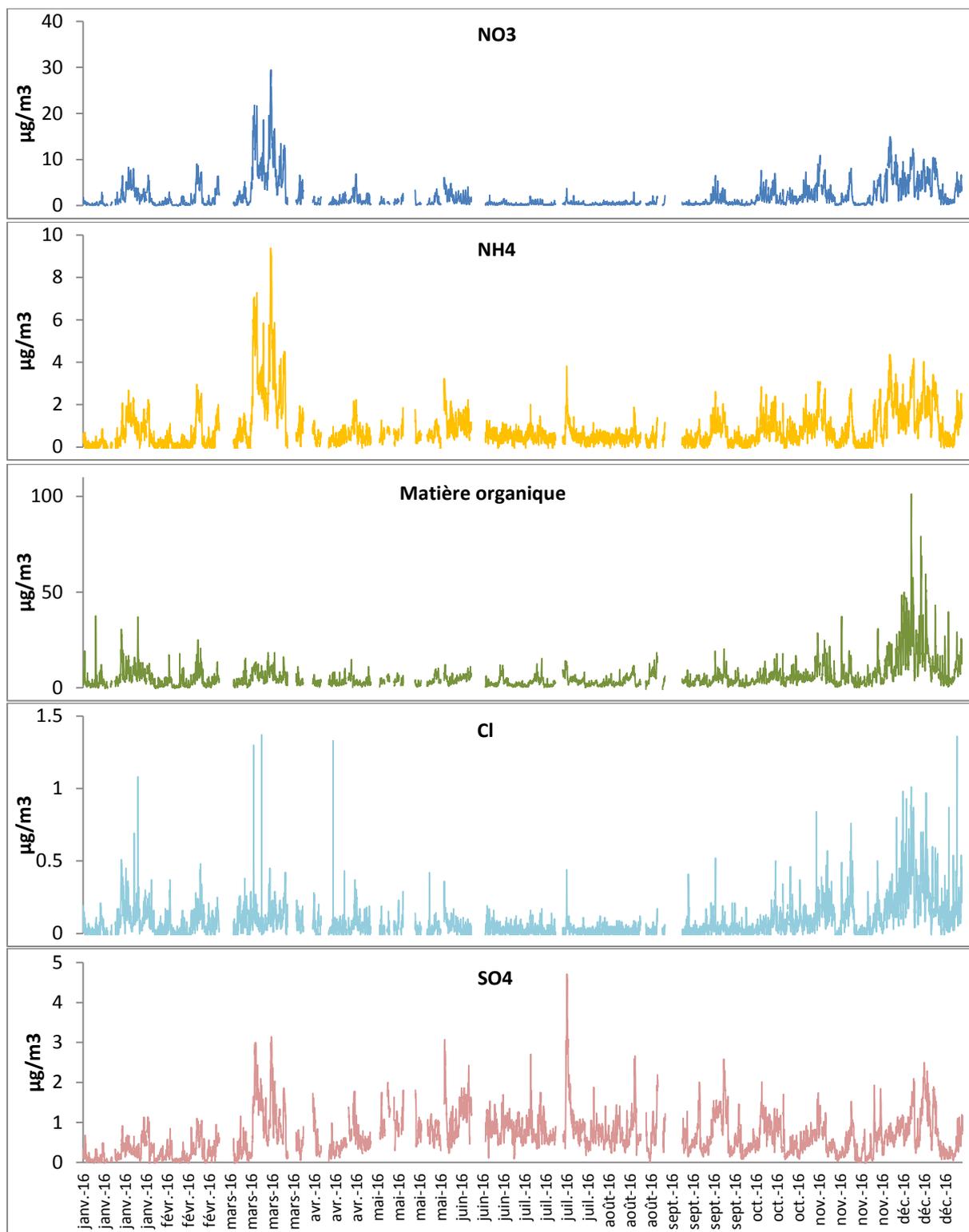


Figure 12 : concentrations horaires - mesure ACSM de janvier à octobre 2016

L'évolution des valeurs mesurées pour le nitrate et l'ammonium sont très similaires au cours de l'année, avec malgré tout une contribution à la masse des particules près de trois fois plus élevées pour le nitrate (NO_3).

	FIX_INT_14_022	37	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	----	---

Pour les deux composés, des pics de concentrations très marqués ont été observés au mois de mars 2016 ; c'est à cette période que les seuils réglementaires pour les PM10 ont été dépassés sur la région.

La matière organique est la première contributrice à la masse des particules parmi les composés mesurés par l'ACSM. Les valeurs les plus élevées ont été mesurées en début d'année, en période de chauffage, mais les valeurs restent importantes tout au long de l'année, même pendant l'été où d'autres sources contribuent à la formation de Matière organique : matière végétale, particules organiques secondaires terrestre ou marins, ...

Dans le cas du chlore, seul le chlore non réfractaire est ici mesuré, il ne comprend pas les sels des embruns marins. La provenance la plus probable du chlore non réfractaire est l'industrie, ou la combustion de biomasse. Le HCl réagit avec l'ammoniac pour former du chlorure d'ammonium, molécule encore plus volatile que le nitrate d'ammonium. Le profil pour le chlore est associé à des concentrations très faibles.

Evolution des concentrations au cours de la journée

Le caractère semi-volatile du nitrate et de l'ammonium ou du chlorure d'ammonium se traduit dans l'évolution des concentrations moyennes au cours de la journée ; les valeurs les plus élevées correspondent aux heures les plus froides (nuit et surtout début de matinée), à l'inverse, les valeurs les plus faibles sont mesurées dans le milieu de l'après-midi.

Le profil journalier pour la matière organique est influencé par la combustion de biomasse, les valeurs augmentent vers la fin de journée, au moment de la remise en route des moyens de chauffage.

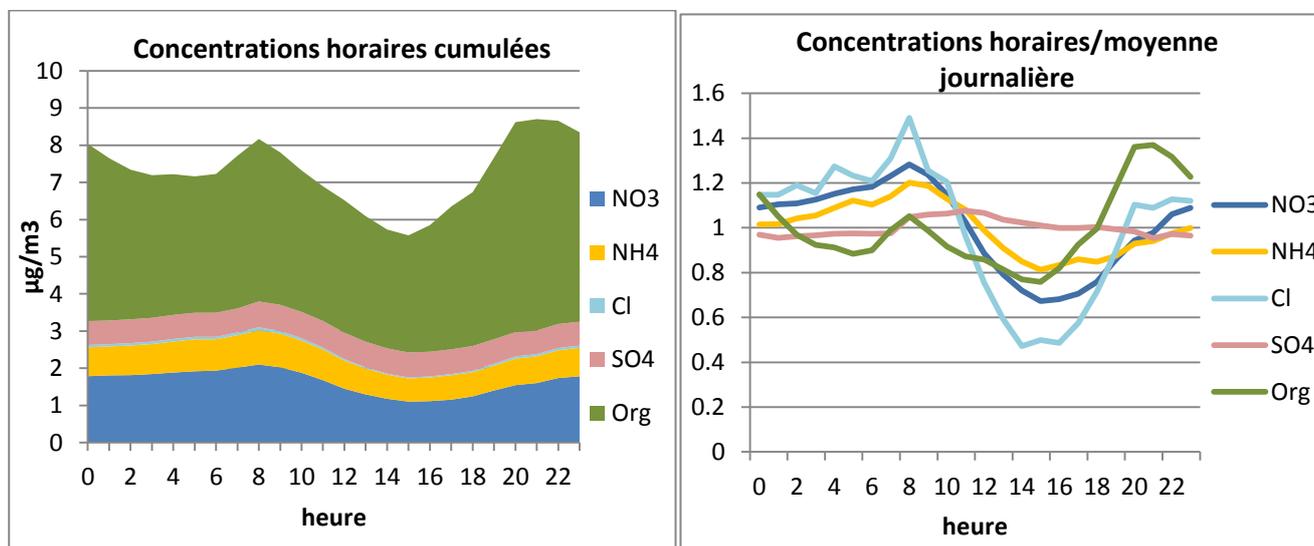
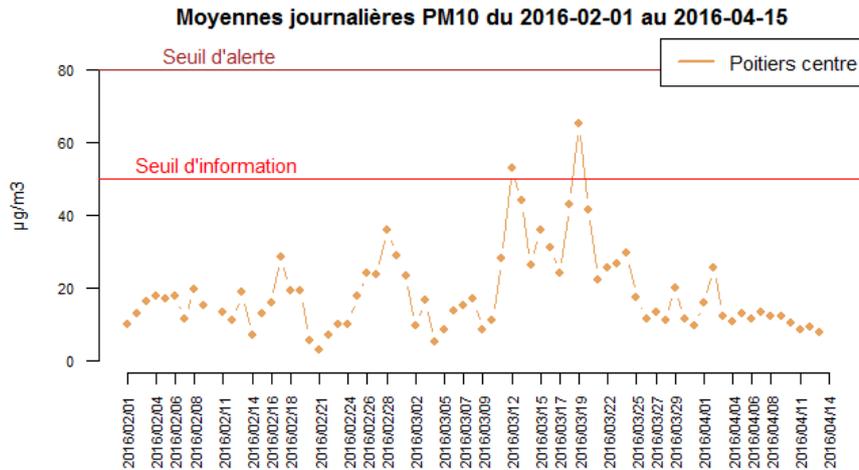


Figure 13 : Profils journaliers moyens – ACSM de janvier à octobre 2016

4.1.2 Application aux épisodes de pollution de mars 2016

Deux épisodes de pollution par les PM10 ont été enregistrés par Atmo Nouvelle-Aquitaine au premier trimestre 2016. Ils ont eu lieu au mois de mars, à une semaine d'intervalle. Seul le seuil d'information ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a été dépassé, le seuil d'alerte ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) n'a pas été atteint.

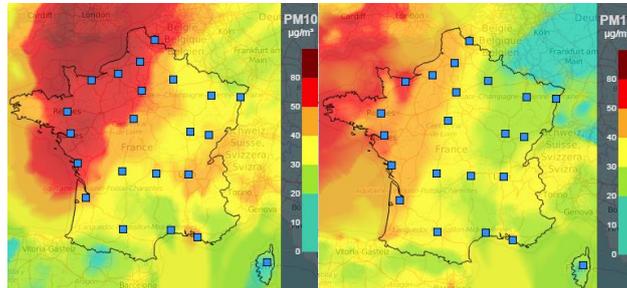
	FIX_INT_14_022	38	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	----	---



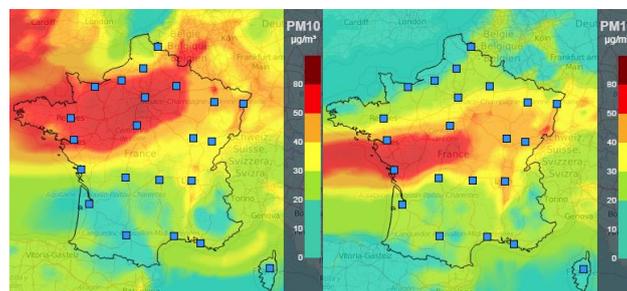
Les épisodes de pollution ont eu lieu lorsque le vent a tourné au secteur nord/nord-est, à partir des 11 et 12 mars. Durant cette période, on enregistre une forte amplitude de températures qui avoisine parfois les 0°C durant la nuit pour dépasser les 10°C durant le jour.

A partir du 24 mars, le vent tourne à nouveau au sud/sud-ouest, la pluie revient, les températures augmentent, les concentrations baissent à nouveau et c'est la fin des épisodes d'alerte.

Les épisodes de pollution par les particules sont récurrents chaque année aux environs du mois de mars lorsque les vents proviennent d'un secteur nord/nord-est. Ce type d'événement est de grande échelle, et concerne une partie importante du territoire national ; les 12 et 13 mars, c'était le nord-ouest de la France qui était touché. Le 18 et en particulier le 19, la pollution descendait plus sur le centre-ouest de la métropole.



PM10 des 12 et 13 mars 2016



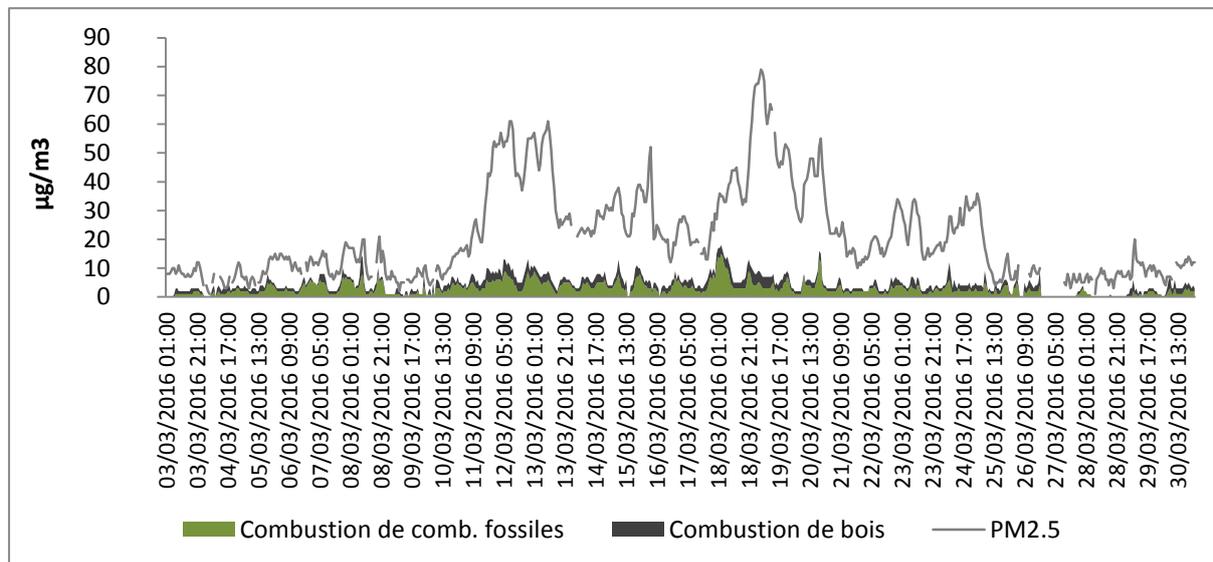
PM10 des 18 et 19 mars 2016

Ces hausses de concentrations à grande échelle sont souvent dues à des déplacements de masses d'air chargées en particules qui arrivent sur nos territoires où elles s'additionnent aux particules d'origine locale. L'accumulation des polluants est favorisée par les conditions météorologiques ; en effet sur la période du 11 au 20 mars, plusieurs inversions nocturnes de température dans les basses couches de l'atmosphère (<500 m) ont bloqué la dispersion de polluants.

	FIX_INT_14_022	39	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	----	---

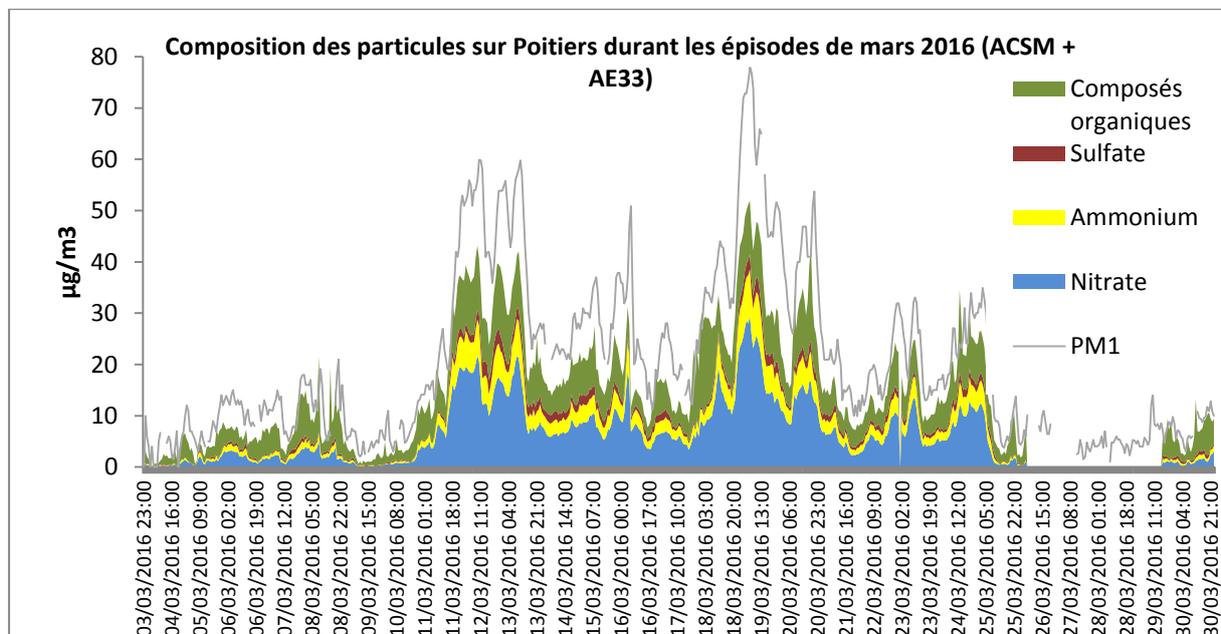
Composition chimique et étude des sources de particules durant l'épisode du mois de mars 2016.

La station de Poitiers-centre est équipée d'un aethalomètre AE33 qui permet d'estimer la quantité de particules PM_{2,5} issue de la combustion de biomasse et de combustibles fossiles.



La fraction des particules fines issue des sources de combustion est relativement faible durant les deux épisodes du mois de mars 2016, qui n'ont donc eu pour origine ni le trafic routier, ni le chauffage au bois. Une hausse des concentrations de particules liées au chauffage au bois a bien été enregistrée au début de la journée du 18 mars, mais les concentrations sur Poitiers sont restées inférieures à 50 µg/m³.

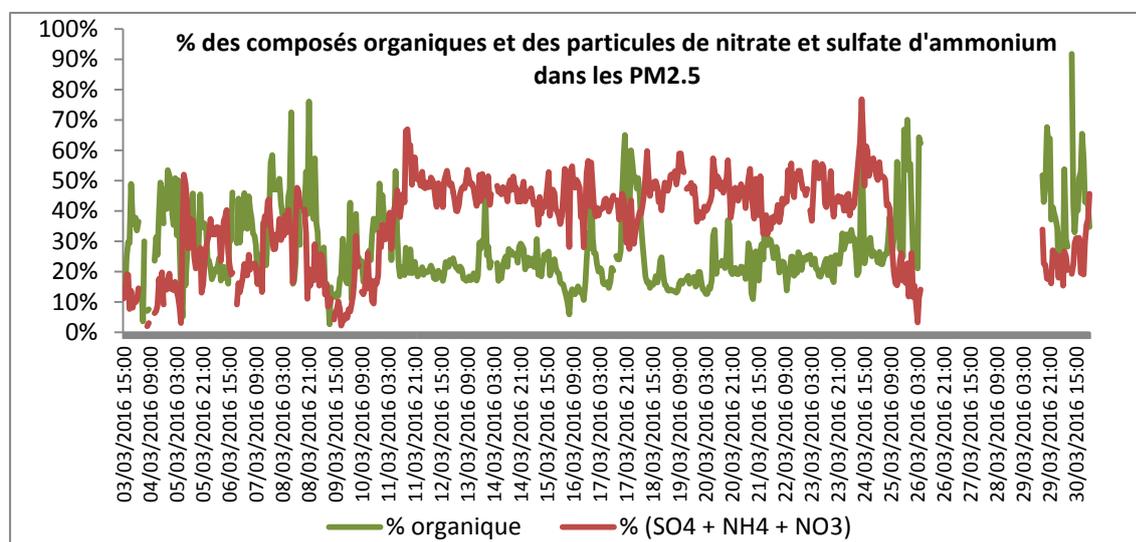
Les hausses de particules observées durant cette période ont eu une autre origine, qui a pu être déterminée grâce à l'ACSM.



La figure précédente montre que la composition des particules fines durant le mois de mars a été dominée par les composés nitrate (NO₃), ammonium (NH₄⁺) et dans une moindre mesure sulfate (SO₄²⁻), qui constituent les particules secondaires volatiles ; ces particules ne sont pas émises directement pas une source d'émissions, mais se forment dans l'atmosphère à partir de polluants

gazeux. Ces derniers, en particulier les NO_x, SO_x et NH₃, sont eux-mêmes issus de sources de combustion tels que le trafic routier ou les industries, mais également des épandages d'engrais agricoles qui ont lieu en cette période de l'année.

Le graphique suivant représente la proportion de particules secondaires de nitrate et sulfate d'ammonium et des composés organiques dans les particules mesurées via l'ACSM durant le mois de mars 2016.



La proportion de particules secondaires a nettement augmenté aux environs du 11 mars, lorsque le régime de vent est passé du sud-ouest au nord/nord-est. A ce moment-là, les concentrations de particules ont commencé à augmenter dans l'air, puis ont dépassé le seuil de 50 µg/m³ le 12 mars.

La proportion de particules secondaires est restée élevée pendant les deux semaines de vent de nord-est, puis a fortement chuté aux environs du 25 mars, lorsque le vent a tourné au sud. Pour autant, toute la période n'a pas été concernée par un dépassement du seuil d'information, puisque c'est bien la conjonction de la présence de sources de particules avec conditions météorologiques type inversion de températures qui a été à l'origine des épisodes de dépassement.

Ce type de résultats illustre l'influence de l'apport de particules secondaires depuis des échelles nationales ou supra-nationales, lorsque le vent provient des terres, en particulier du nord et de l'est de l'Europe, sous conditions anticycloniques. L'ACSM a également enregistré le 18, soit au début du second pic de pollution, une augmentation de la proportion des composés organiques dans les particules. Les mesures de l'aethalomètre montrent qu'une part de ces composés organiques était liée à la combustion de biomasse, assimilée ici au chauffage au bois. Bien que le seuil de 50 µg/m³ ait été dépassé ce jour-là sur le nord de la région, les valeurs sur Poitiers sont restées inférieures à 45 µg/m³.

Chapitre 5 Etude de la granulométrie des particules

5.1 Résultats des mesures granulométriques à l'échelle de l'année 2015

Un compteur optique de particules de type GRIMM mesure en continu sur le centre de Poitiers la répartition granulométrique des particules diamètre aérodynamique supérieur à 0.25 μm .

Les deux graphiques suivants représentent l'évolution au cours de l'année 2015 des concentrations de particules par classes de taille, en cumulé et en proportion des particules PM10.

L'appareil a subi une période de maintenance durant l'été 2015, il manque les valeurs pour le mois de septembre.

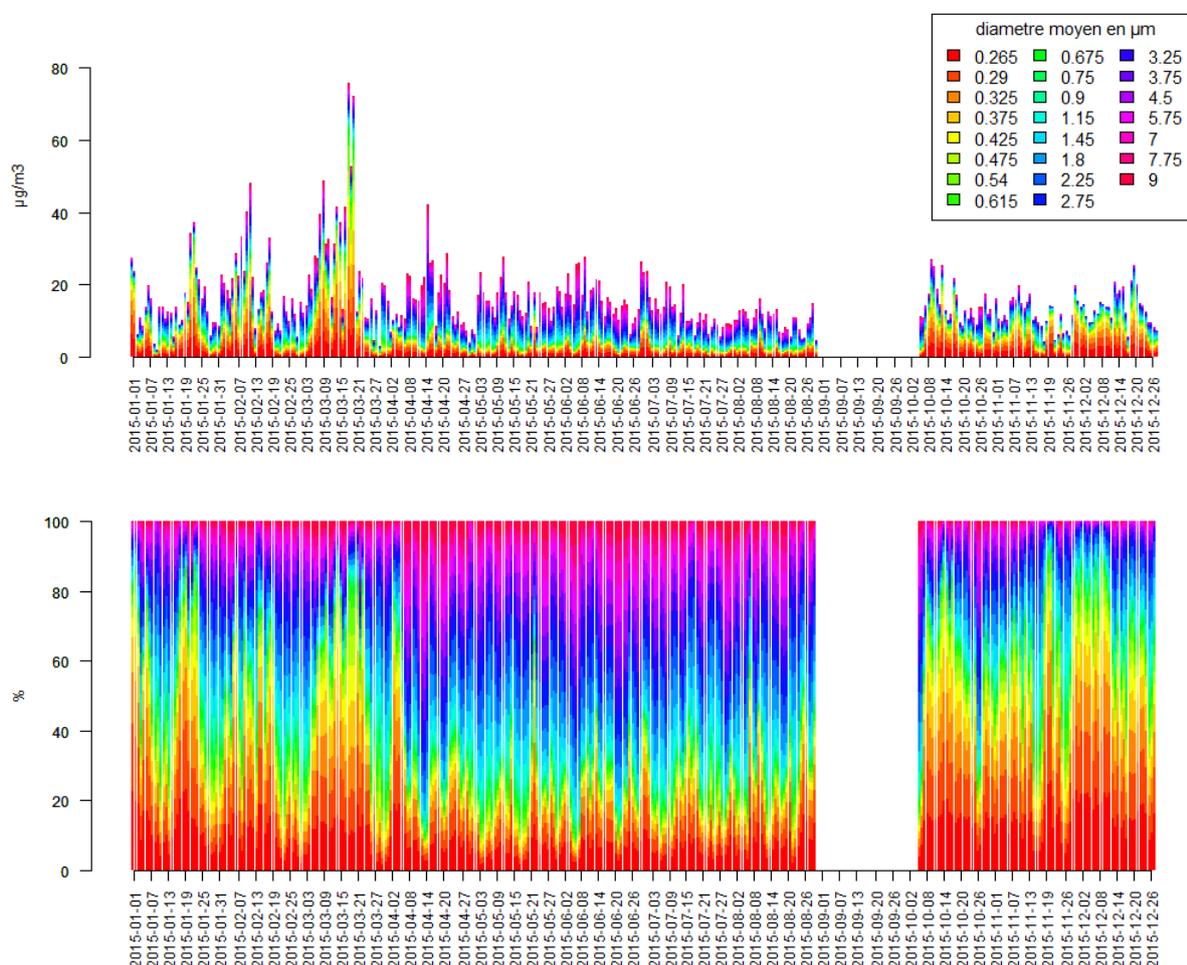


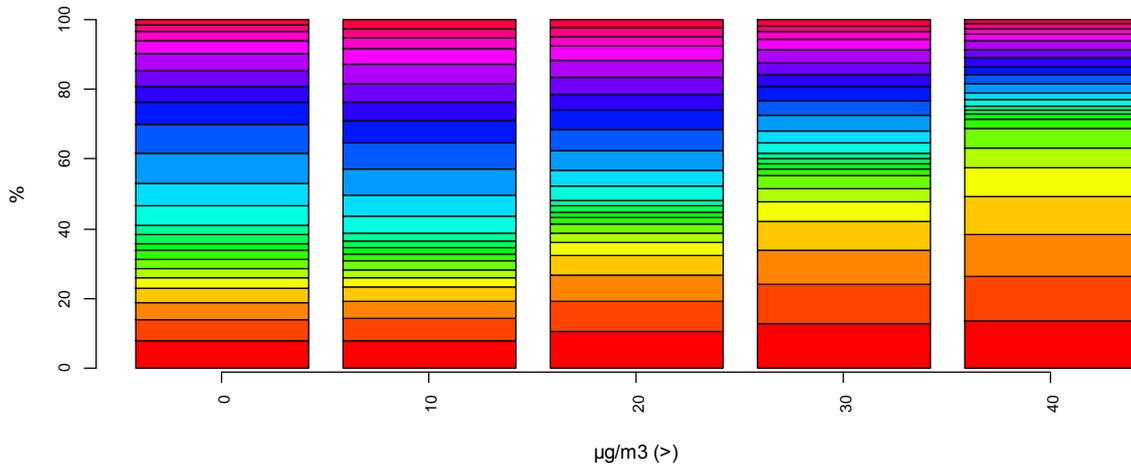
Figure 14 : mesure horaire des concentrations et proportions de particules PM10 par classes de tailles - 2015 – Poitiers

La mesure par classe granulométrique apporte en particulier deux types d'informations :

- Les profils granulométriques donnent une information sur la nature et potentiellement l'origine des particules. A défaut d'analyse plus précises, il peut venir équiper un site de mesure pour l'étude d'une source spécifique

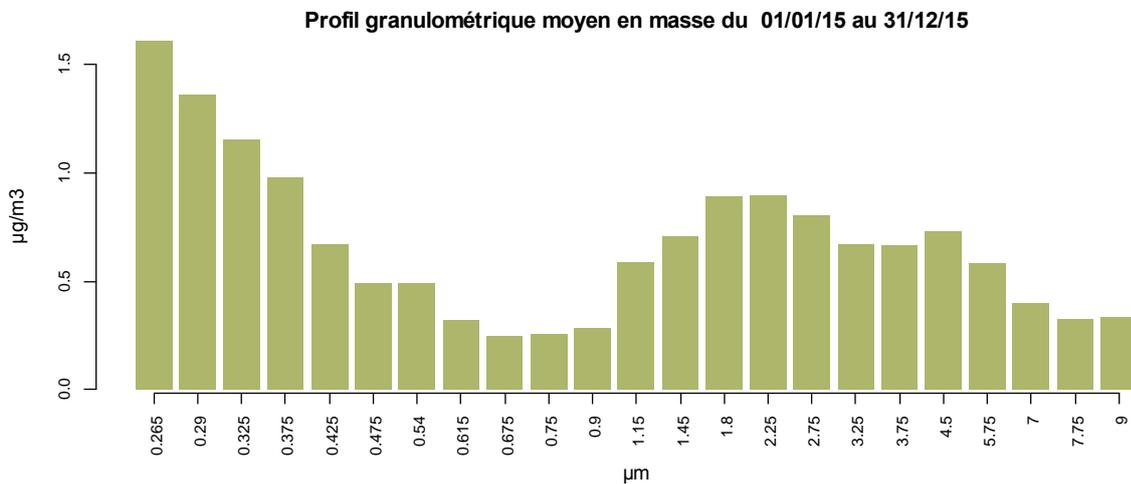
- L'impact sanitaire des particules est dépendant de leur taille, les données sont plus pertinentes qu'une mesure PM10 dans le cadre d'une étude sanitaire.

Le graphique suivant illustre la variabilité de la composition et de la granulométrie des particules; les profils de répartition par classe de taille ont été qualifiés pour 5 classes de concentrations PM10 (écart de 10 µg/m³).



Plus les concentrations sont élevées, et plus les particules sont fines ; la présence significative de particules de diamètre inférieur à 0.3 µm dans les concentrations les plus élevées est à mettre directement en lien avec la présence de particules semi-volatiles (nitrate d'ammonium), ou de particules issues de la combustion lors des épisodes de pollution.

Le graphique suivant représente le profil granulométrique moyen des particules PM10 mesuré sur l'année 2015.



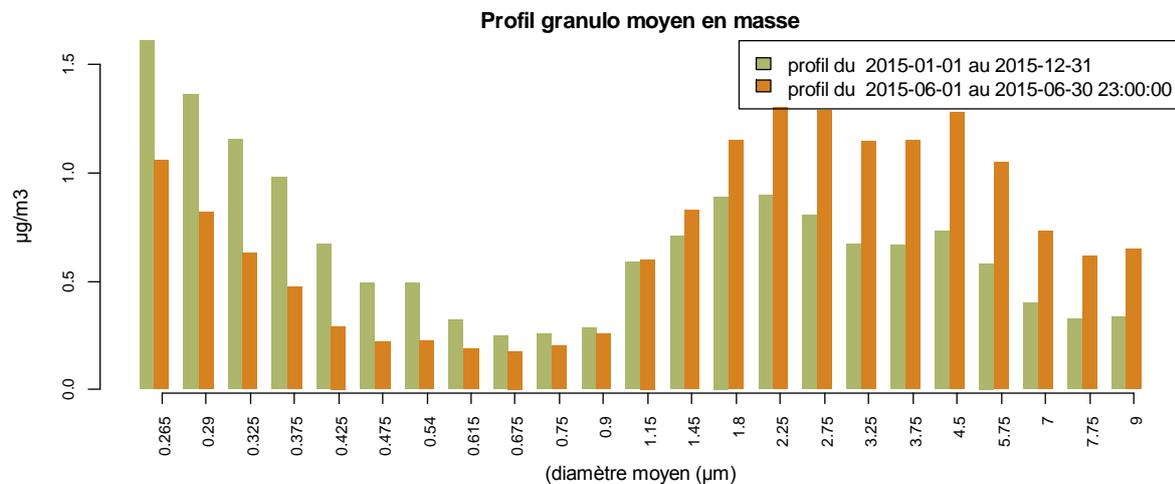
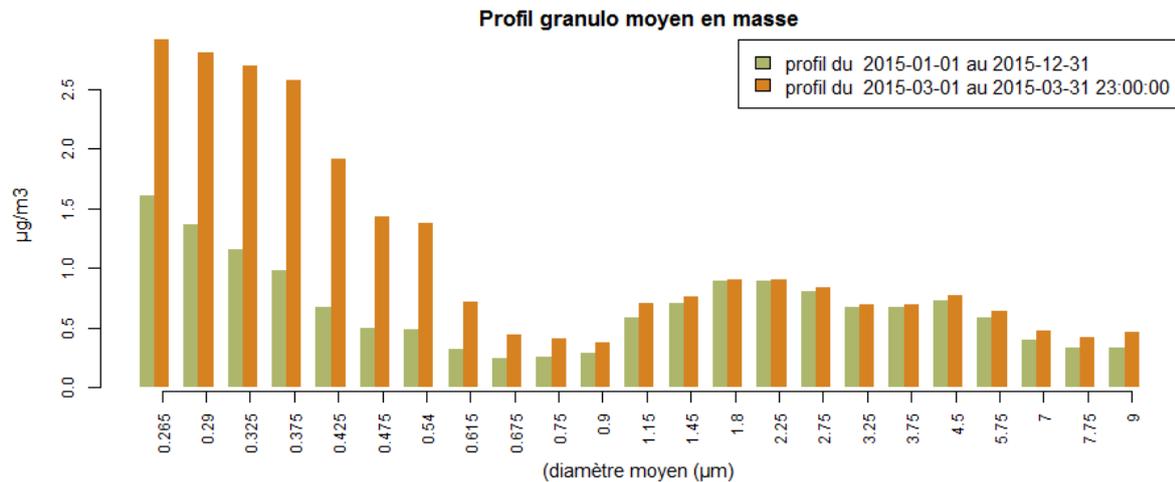
Le profil est classique pour une répartition en masse, où apparaissent distinctement deux modes :

- Les particules grossières (coarse), de plus de 1 µm : sels marins, particules minérales du sol,..
- Le mode accumulation : où l'on retrouve les particules secondaires et les particules issues des processus de combustion. Les performances du GRIMM ne permettent pas de descendre en deçà de 0.25 µm, il manque en conséquence une part importante en masse des particules.

Quant au mode nucléation, il concerne les particules de moins de 0.1 μm , et n'apparaît pas sur le profil.

Les deux graphiques suivants représentent les profils spécifiques de deux périodes distinctes, comparés au profil annuel moyen :

- La granulométrie mesurée durant l'épisode de dépassement de seuil de mars 2015
- La granulométrie mesurée en période estivale, au mois de juin 2015.



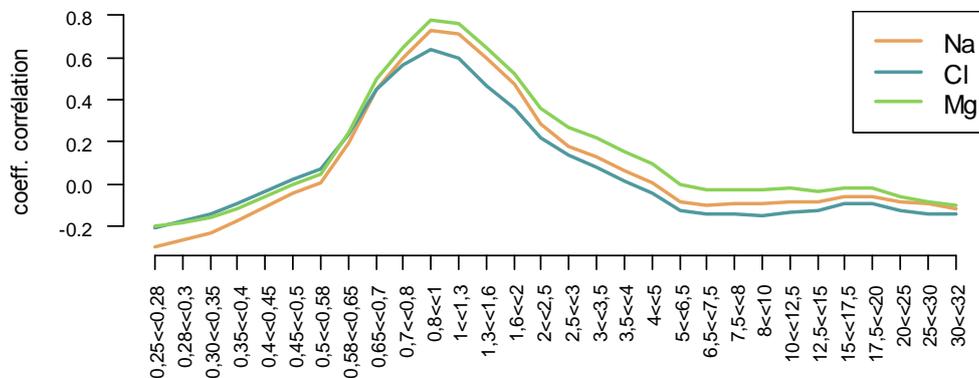
Le premier profil, mesuré durant l'épisode de pollution, fait apparaître les particules du mode accumulation, lié à la présence de nitrate d'ammonium. En revanche durant le mois de juin, dominé par des vents d'ouest, les particules du mode coarse ou grossier dominant sur le profil, en lien avec la présence de sels marins et de particules minérales.

5.2 Etude des corrélations entre la présence d'éléments chimique et la taille des particules

L'objectif est ici d'évaluer les classes granulométriques dominantes pour les principales origines de particules (ou facteurs) déterminées via la PMF. Pour cela, les concentrations des espèces analysées sur les filtres (prélèvements journaliers) ont été comparées aux moyennes des profils journaliers des comptages optiques du GRIMM. Un coefficient de corrélation a été calculé par espèce pour chaque couple (concentrations journalières de l'espèce chimique n, nombre de particules dans la classe granulométrique c).

5.2.1 Les sels marins

Les sels marins sont dominés par le sodium, le chlore et le magnésium (cf annexe 1).



La corrélation entre les concentrations journalières et les profils granulométriques de particules est très similaire pour les trois espèces représentatives des sels marins. **Les plus fortes corrélations sont observées pour les classes de tailles comprises entre 0,7 et 2 µm**, soit le mode de particules grossières, où l'on retrouve également les poussières minérales.

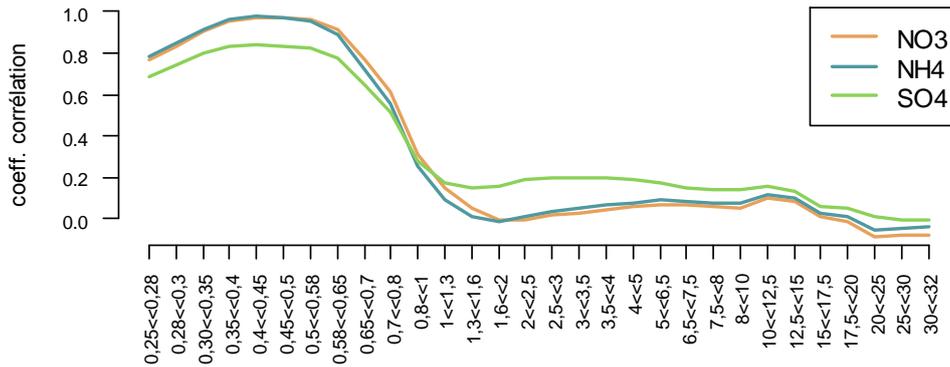
Les sels marins seront donc observés sur les PM₁₀, partiellement sur les PM_{2,5}, mais peu sur les PM₁.

5.2.2 Les nitrates et sulfates d'ammonium

Les particules inorganiques secondaires concernées ici sont formées par des processus physico chimiques et sont majoritaires dans le « mode » accumulation, comme on le voit dans le graphique suivant; pour les classes de tailles disponibles, le nitrate, sulfate et ammonium est majoritairement présent dans les particules de diamètre aérodynamique compris entre 0,2 et 1 µm.

Les épisodes de nitrate et sulfate d'ammonium seront donc visibles sur les trois mesures de particules PM₁₀, PM_{2,5}, et PM₁.

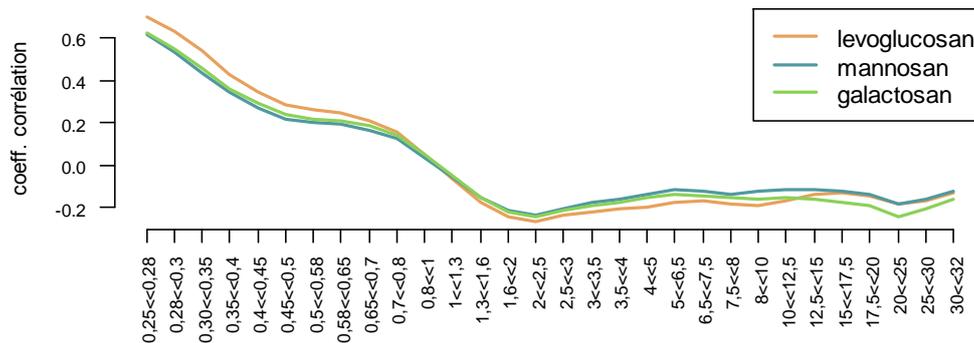
	FIX_INT_14_022	45	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	----	---



Il est possible de trouver du nitrate dans les particules grossières car l'acide nitrique peut réagir avec les sels de mer et les poussières telluriques calcaires, ce qui pourrait expliquer la remontée (peu significative cependant) du coefficient de corrélation dans la gamme des particules de plus de 3 µm.

5.2.3 Les composés traceurs du chauffage au bois

Les corrélations entre le lévoglucosan, mannosan et galactosan sont plus élevées dans les classes de tailles les plus fines. Le pic de corrélation n'est pas atteint dans la gamme des tailles mesurées par le GRIMM. Les particules liées à la combustion appartiennent au mode nucléation et sont majoritairement de taille inférieure à 0.1 µm.



Les particules liées au chauffage au bois seront donc visibles sur les mesures PM1, PM2.5 et PM10.

Conclusions

L'éventail des mesures déployées durant l'année 2015 sur Poitiers permettent pour la première fois sur le territoire de Poitou-Charentes de caractériser la nature et les sources de particules au cours d'une année complète en zone urbaine.

Les enseignements majeurs issus de cette étude peuvent être résumés ainsi :

Malgré la localisation du site en zone urbaine, environ la moitié des particules fines PM10 mesurées sur le centre de Poitiers proviennent de sources naturelles, (poussières du sol, origine marine, spores ou débris végétaux, ...).

Parmi les sources anthropiques de particules, les deux principales sources de combustion, trafic routier et chauffage au bois, représentent respectivement selon les méthodes de mesures :

- 12% (trafic) et 16% (chauffage bois) des PM10 (analyse sur filtre et traitement PMF)
- 16% (trafic) et 22% (chauffage bois) des PM2.5 (mesure du Black Carbon)

Ces écarts sont expliqués par les différences de taille de particules prises en compte (PM2.5 dans le cas du Black Carbon, PM10 dans le cas des analyses de filtres) ainsi que par la différence des méthodes de mesure et leurs incertitudes associées. Les proportions restent cependant proches, et confirment la prédominance du chauffage au bois dans les origines de particules issues de la combustion.

L'ensemble des particules secondaires sur Poitiers, c'est-à-dire des particules formées dans l'atmosphère à partir de polluants gazeux, représente 45% des PM10 à l'échelle annuelle. Ces précurseurs peuvent être d'origine naturelle (c'est le cas par exemple des COV émis par la végétation) ou anthropique.

Dans la catégorie des particules secondaires, on trouve les particules riches en sulfate et en nitrate (23% des PM10) qui représentent une part élevée des PM10 en moyenne sur l'année, voire très élevée lors de certains épisodes de pollution typique du printemps.

Elles se forment à partir de précurseurs dont les principaux sont les oxydes d'azote (émis par le trafic routier et d'autres sources, principalement de combustion), les oxydes de soufre (émis par les industries et d'autres sources, principalement de combustion) et l'ammoniac (émis très majoritairement par les activités agricoles).

Ces proportions sont valables à l'échelle d'une année, mais peuvent très fortement varier en fonction des saisons, ou lors des épisodes de pollution.

On observe généralement deux types d'épisodes de pollutions sur la région :

- Des épisodes dit « hivernaux » qui ont lieu généralement durant les mois de décembre ou janvier ; la principale source qui contribue à ces épisodes est le chauffage au bois, comme le montre les mesures de Black Carbon (ou les analyses de filtre).
- Des épisodes dit « printaniers » qui ont lieu aux environs du mois de mars ; ils sont associés à des fortes hausses de particules secondaires de nitrate d'ammonium, comme le montre la mesure par ACSM (ou les analyses de filtre).

La mesure en continue en œuvre sur le site de Poitiers, mais aussi sur Bordeaux, permet d'identifier en temps réel les sources à l'origine des dépassements de seuils, et donc d'adapter les actions à mettre en œuvre pour diminuer la pollution par les particules.

	FIX_INT_14_022	47	Etude de la composition chimique et des sources de particules sur le centre-ville de Poitiers
---	----------------	----	---

Table des figures

Figure 1 (source : Atmo Nouvelle-Aquitaine, ICARE 2010 V3.0)	12
Figure 2 : moyennes annuelles et taux de fonctionnement - PM10 et PM2.5 – Poitiers - 2015	19
Figure 3 : moyennes journalières sur Poitiers centre - PM10 - 2015	20
Figure 4 : moyennes mensuelles PM10 et PM2.5 – Poitiers centre - 2015	20
Figure 5 : mesures horaires BCff et BCwb – Poitiers Centre - 2015	21
Figure 6 profil horaire moyen sur Poitiers centre - 2015	22
Figure 7 profil mensuel moyen et contribution des sources de combustion sur Poitiers centre – 2015	23
Figure 8 : contribution moyenne annuelle des sources de combustion au PM2.5 sur Poitiers – centre - 2015.....	23
Figure 9 : moyennes horaires PMwb, PMff, PM2.5 – Poitiers centre , du 26/12/2014 au 06/01/2015	24
Figure 10 : Composition moyenne des PM10 sur Poitiers centre (2015) (Hiver : de octobre à mars, Eté : d’avril à septembre).....	25
Figure 11 : concentrations journalières – Poitiers centre - 2015.....	26
Figure 12 : concentrations horaires - mesure ACSM de janvier à octobre 2016.....	37
Figure 13 : Profils journaliers moyens – ACSM de janvier à octobre 2016.....	38
Figure 14 : mesure horaire des concentrations et proportions de particules PM10 par classes de tailles - 2015 – Poitiers	42

Résumé

L'éventail des mesures déployées durant l'année 2015 sur Poitiers permettent pour la première fois sur le territoire de Poitou-Charentes de caractériser la nature et les sources de particules au cours d'une année complète en zone urbaine.

Les enseignements majeurs issus de cette étude peuvent être résumés ainsi :

Malgré la localisation du site en zone urbaine, environ la moitié des particules fines PM10 mesurées sur le centre de Poitiers proviennent de sources naturelles, (poussières du sol, origine marine, spores ou débris végétaux, ...).

Parmi les sources anthropiques de particules, les deux principales sources de combustion, trafic routier et chauffage au bois, représentent respectivement selon les méthodes de mesures :

- 12% (trafic) et 16% (chauffage bois) des PM10 (analyse sur filtre et traitement PMF)
- 16% (trafic) et 22% (chauffage bois) des PM2.5 (mesure du Black Carbon)

Ces écarts sont expliqués par les différences de taille de particules prises en compte (PM2.5 dans le cas du Black Carbon, PM10 dans le cas des analyses de filtres) ainsi que par la différence des méthodes de mesure et leurs incertitudes associées. Les proportions restent cependant proches, et confirment la prédominance du chauffage au bois dans les origines de particules issues de la combustion.

L'ensemble des particules secondaires sur Poitiers, c'est-à-dire des particules formées dans l'atmosphère à partir de polluants gazeux, représente 45% des PM10 à l'échelle annuelle. Dans la catégorie des particules secondaires, on trouve les particules riches en sulfate et en nitrate (23% des PM10) qui représentent une part élevée des PM10 en moyenne sur l'année, voire très élevée lors de certains épisodes de pollution typique du printemps.

Elles se forment à partir de précurseurs dont les principaux sont les oxydes d'azote (émis par le trafic routier et d'autres sources, principalement de combustion), les oxydes de soufre (émis par les industries et d'autres sources, principalement de combustion) et l'ammoniac (émis très majoritairement par les activités agricoles).

Ces proportions sont valables à l'échelle d'une année, mais peuvent très fortement varier en fonction des saisons, ou lors des épisodes de pollution.

La mesure en continue en œuvre sur le site de Poitiers, mais aussi sur Bordeaux, permet d'identifier en temps réel les sources à l'origine des dépassements de seuils, et donc d'adapter les actions à mettre en œuvre pour diminuer la pollution par les particules.

