

CARACTÉRISATION CHIMIQUE DES PARTICULES

SUR LE TERRITOIRE DE LOURDES

HIVER 2015-2016



Atmo Midi-Pyrénées - ORAMIP

19 avenue Clément Ader

31770 COLOMIERS

Tél : 05 61 15 42 46

contact@oramip.org - <http://oramip.atmo-midipyrenees.org>

CONDITIONS DE DIFFUSION

ORAMIP Atmo - Midi-Pyrénées, est une association de type loi 1901 agréée par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable des Transports et du Logement (décret 98-361 du 6 mai 1998) pour assurer la surveillance de la qualité de l'air sur le territoire de Midi-Pyrénées. ORAMIP Atmo-Midi-Pyrénées fait partie de la fédération ATMO France.

Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. La structure agit dans l'esprit de la charte de l'environnement de 2004 adossée à la constitution de l'État français et de l'article L.220-1 du Code de l'environnement. Elle gère un observatoire environnemental relatif à l'air et à la pollution atmosphérique au sens de l'article L.220-2 du Code de l'Environnement.

- ORAMIP Atmo-Midi-Pyrénées met à disposition les informations issues de ses différentes études et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux. A ce titre, les rapports d'études sont librement accessibles sur le site <http://oramip.atmo-midipyrenees.org>.

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle de ORAMIP Atmo-Midi-Pyrénées. Toute utilisation partielle ou totale de données ou d'un document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit obligatoirement faire référence à ORAMIP Atmo-Midi-Pyrénées.

Les données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.

Par ailleurs, ORAMIP Atmo-Midi-Pyrénées n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec l'ORAMIP :

- depuis le formulaire de contact sur le site <http://oramip.atmo-midipyrenees.org>
- par mail : contact@oramip.org
- par téléphone : 05.61.15.42.46

SOMMAIRE

SYNTHÈSE DE LA CAMPAGNE DE MESURES.....	3
LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE	4
ANNEXE I : RÉSULTATS DES MESURES DE PARTICULES DE DIAMÈTRE INFÉRIEUR A 10 µM DANS L'ENVIRONNEMENT DE LOURDES.....	10
ANNEXE III : ÉTUDE DE LA CORRELATION ENTRE COMPOSES ANALYSES ET PM.....	16
ANNEXE III : COMPOSITION CHIMIQUE DES PARTICULES.....	18
ANNEXE IV : BILAN DE MASSE.....	20
ANNEXE VI : ESTIMATION DE LA PART LOCALE MOYENNE DES DIFFERENTS CONSTITUANTS PARTICULAIRES.....	25
ANNEXE VII : ETUDE DES RATIOS	26
ANNEXE VIII : ESTIMATION DES CONTRIBUTIONS DES SOURCES AUX PARTICULES.....	27
ANNEXE IX : ESTIMATION DES CONTRIBUTIONS DES SOURCES LORS DES EPISODES DE POLLUTION.....	33
ANNEXE X : CONDITIONS METEOROLOGIQUES DE L'HIVER 2015 - 2016.....	36
ANNEXE XI : RÉSULTATS DES MESURES DE BENZO(A)PYRÈNE DANS L'ENVIRONNEMENT DE LOURDES ET TOULOUSE	37
ANNEXE XII : IMPACT DES PARTICULES SUR LA SANTE.....	40

SYNTHÈSE DE LA CAMPAGNE DE MESURES

OBJECTIF DU SUIVI

Les vallées pyrénéennes sont des territoires à enjeux en termes de pollution de l'air ; elles concentrent dans une zone encaissée les émissions polluantes résultant des activités humaines. La surveillance de la qualité de l'air, effectuée par l'ORAMIP sur le département des Hautes Pyrénées, a ainsi mis en évidence que des concentrations en particules importantes peuvent y être observées. En outre, ces particules sont à l'origine de la quasi-totalité des épisodes de pollution constatés sur ce territoire.

Ces "particules" regroupent une multitude de composés de taille et de composition différentes. En fonction de leur mécanisme de formation, on distingue trois catégories de particules.

Les particules primaires sont émises directement dans l'atmosphère. Elles peuvent être d'origine naturelle (érosion des sols, embruns marins...) ou anthropique (issues de l'activité humaine). En milieu urbain, elles sont produites par le chauffage domestique, la combustion des carburants, l'usure des pneumatiques et des freins.

Les particules secondaires résultent de la recombinaison en particules des gaz présents dans l'atmosphère. Les principaux gaz précurseurs impliqués dans la formation des particules secondaires sont le dioxyde de soufre (SO_2), les oxydes d'azote (NO_x et nitrates), les composés organiques volatils (COV) et l'ammoniac (NH_3).

Les particules remises en suspension sont les particules qui, une fois déposées sur le sol, sont remises en suspension sous l'action du vent ou de la circulation routière.

Du fait de cette diversité, la connaissance de la contribution des différents secteurs d'activité aux niveaux de particules mesurés dans l'air est indispensable pour accompagner les pouvoirs publics dans la mise en place d'actions efficaces à la réduction des pics de pollution mais également des niveaux moyens de particules.

Le but de cette étude est donc d'identifier la contribution des différents secteurs d'activité humaine aux niveaux de particules rencontrés dans l'environnement de Lourdes, en étudiant la caractérisation chimique de ces particules. La répartition des contributions est comparée à celle de la commune de Toulouse et d'un site en zone rurale, tous deux situés dans un environnement de plaine.

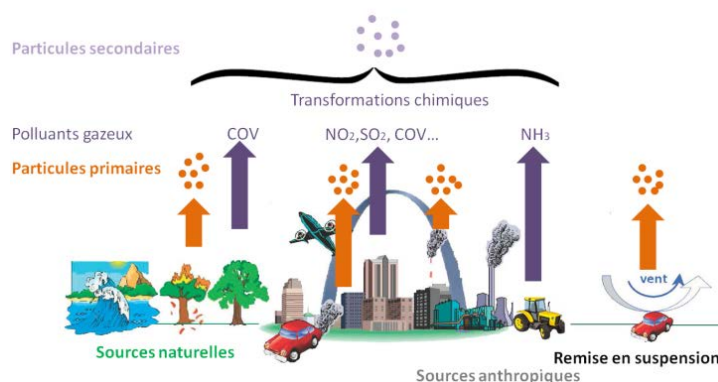
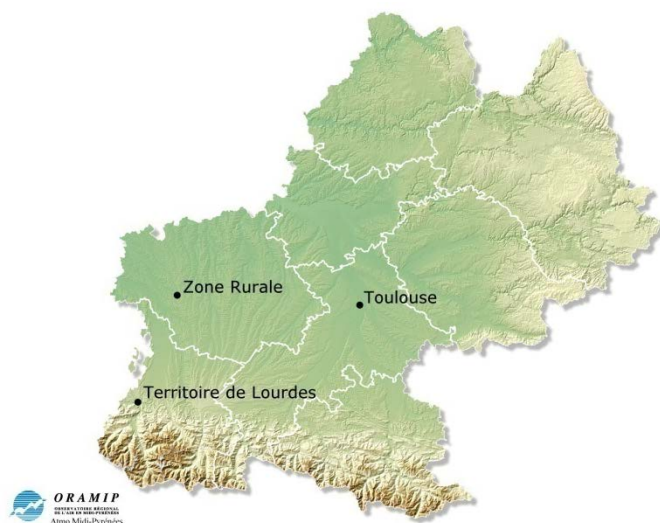


Schéma 1: origines des particules présentes dans l'air



LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE

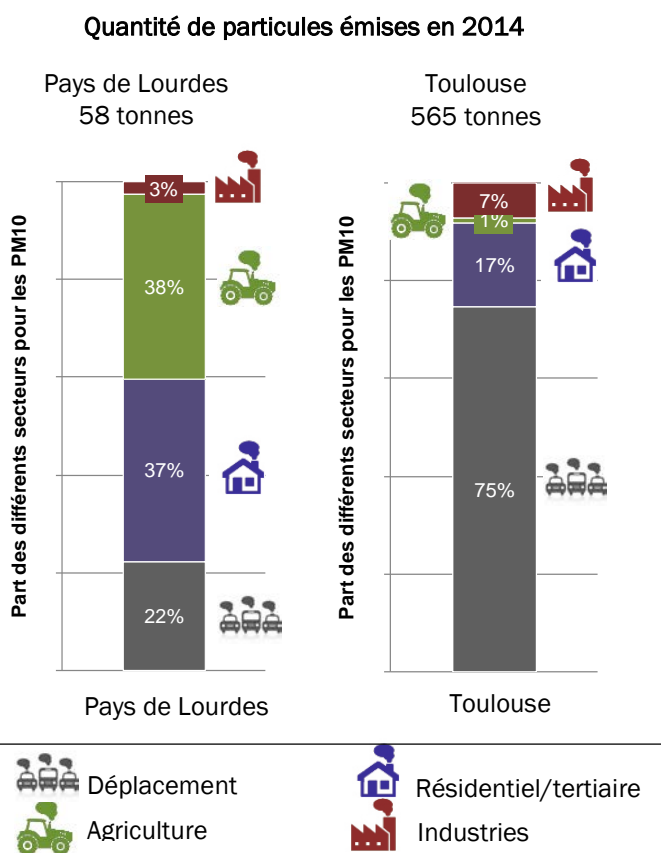
Des territoires différents

La Communauté de Communes du Pays de Lourdes compte 20 678 habitants et la commune de Toulouse 458 298 habitants. (Source Insee population 2013)

Sur le territoire de Lourdes, 58 tonnes de particules PM10 primaires ont été émises pour l'année 2014. Ces particules sont principalement émises par le secteur agricole et le chauffage résidentiel et tertiaire.

L'inventaire présenté ici ne prend pas en compte les particules émises lors du brûlage de déchets verts à l'air libre ainsi que lors des écobuages. Or, cette technique de débroussaillage par le feu est largement pratiquée dans les Pyrénées. Or, le brûlage de végétaux engendre l'émission non négligeable de polluants dont les particules. En effet, le brûlage de 50 kg de déchets verts émet autant de particules que 9 800 km parcourus par une voiture diesel récente en circulation urbaine, 37 900 km pour une voiture essence.

Sur la commune de Toulouse, ce sont 565 tonnes de particules PM10 qui ont été émises en 2014. Les 3/4 de ces particules sont émises par des déplacements routiers (source : Act'air_2014_V3.2).

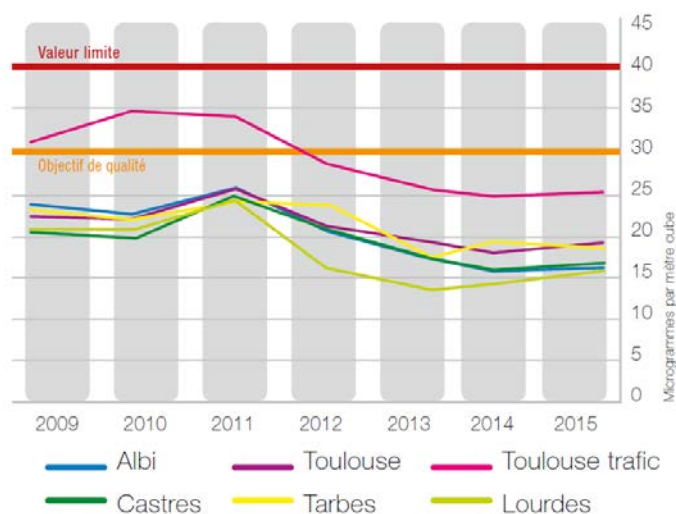


Graph 1 : Données d'émission des particules PM10 pour l'année 2014 - source : Act'air_2014_V3.2

Des concentrations moyennes en particules plus faibles sur le territoire de Lourdes...

Sur le territoire de Lourdes, les niveaux moyens en particules sont les plus faibles relevés sur le dispositif de surveillance de Midi-Pyrénées. Ils sont cependant du même ordre de grandeur que ceux mesurés sur l'agglomération toulousaine alors que la quantité annuelle en particules émises sur cette zone est 10 fois inférieure.

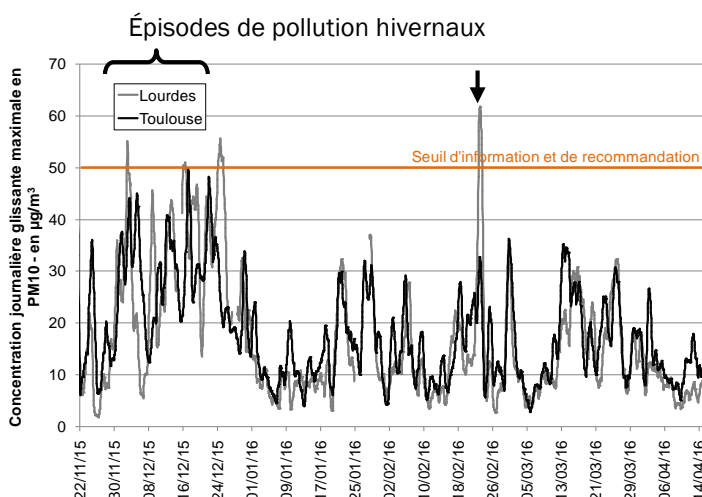
Sur le territoire de Lourdes, la dispersion des particules est probablement limitée du fait de la topographie du site et de conditions climatiques spécifiques.



Graph 2 : Évolution des concentrations annuelles en particules PM10 sur le réseau de surveillance de la qualité de l'air en Midi-Pyrénées

...Mais un territoire impacté par des épisodes de pollution hivernaux

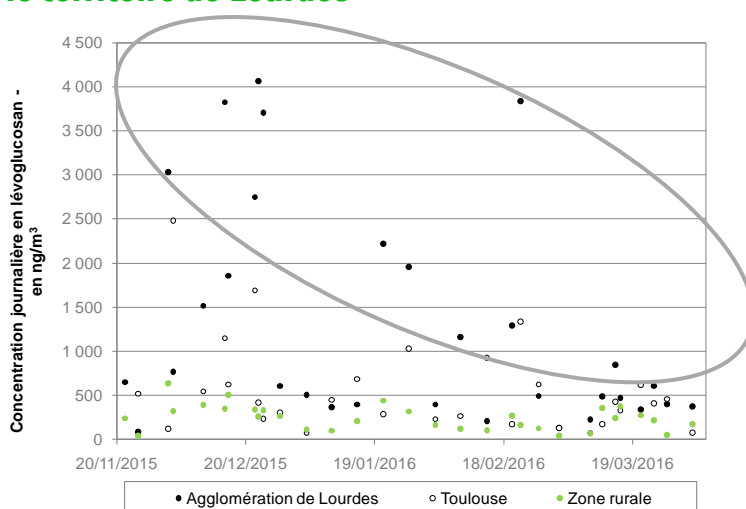
La région Midi-Pyrénées, comme le reste de la France, est soumise en hiver et au début du printemps à des épisodes de pollution aux particules. Ainsi, pendant la période de mesures (du 22 novembre 2015 au 02 avril 2016), 4 dépassements du seuil d'information et de recommandation ont été observés sur le territoire de Lourdes et 1 dépassement sur l'agglomération toulousaine.



Graph 3 : Évolution des concentrations journalières glissantes maximales en particules sur le territoire de Lourdes et l'agglomération toulousaine

Une combustion de biomasse importante sur le territoire de Lourdes

Une première analyse des niveaux de concentrations d'un marqueur de la combustion de biomasse (bois et végétaux), le lévoglucosan, a permis de mettre en évidence une hétérogénéité des concentrations selon les sites suivis lors de cette campagne de mesures. Sur le territoire de Lourdes, les niveaux nettement plus élevés du marqueur mettent en évidence une utilisation importante du chauffage au bois et/ou la pratique de brûlage de déchets verts et d'écobuage dans la vallée.



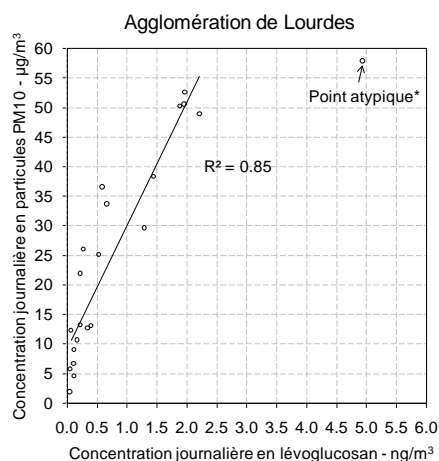
Graph 4 : Évolution des niveaux journaliers de lévoglucosan au cours de la campagne de mesures sur 3 sites

Une saisonnalité des sources de particules

La caractérisation des particules sur les sites étudiés a permis d'établir que la contribution de chacune des sources de particules varie en fonction du site de mesures mais également en fonction de la saison étudiée. Deux types de pollution particulaire ont été mis en évidence.

Ainsi, **entre le 22 novembre et le 26 février**, ("période hivernale") les particules PM10 apparaissent fortement corrélées aux espèces émises par la combustion de biomasse (feux de cheminée - écobuage).

Au-delà du 26 février, les espèces fortement corrélées aux particules PM10 changent au profit des particules secondaires.



* non pris en compte dans le calcul du coefficient de détermination R²

Graph 5 : Exemple de corrélation obtenue entre les concentrations journalières de PM10 et les concentrations de lévoglucosan - site de Lourdes

La combustion de biomasse : 1^{ère} source de particules en hiver

La combustion de biomasse est la première source de particules sur tous les sites étudiés. Cependant, la contribution de cette source varie fortement d'un site à l'autre.

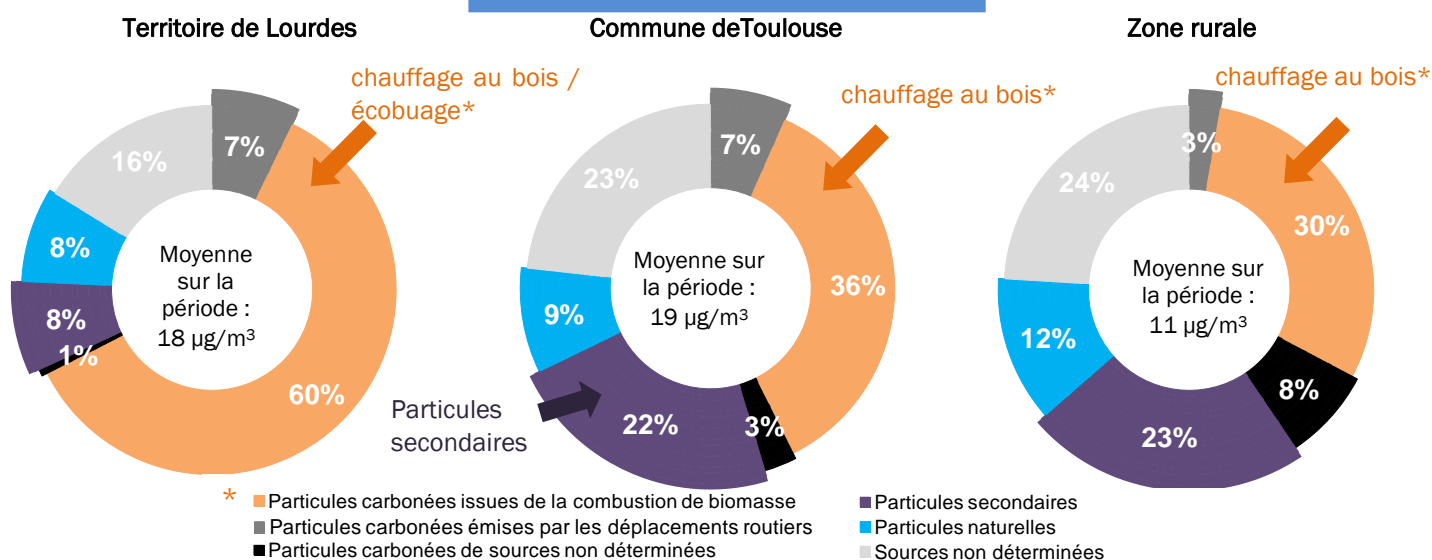
Avec 60% des particules émises, elle est majoritaire sur le territoire de Lourdes. La combustion locale de bois (chauffage au bois, écobuage et brulage de déchets végétaux) influe donc fortement sur la qualité de l'air moyenne du territoire de Lourdes en période hivernale.

Pour la commune de Toulouse et la zone rurale, la contribution est plus faible avec respectivement 36% et 30%. Sur Toulouse, les particules secondaires, formées

dans l'atmosphère par recombinaison de polluants gazeux, sont la seconde source de particules. Avec 22% de la masse de particules, cette contribution est légèrement inférieure à celle de la combustion de biomasse. Cette fraction secondaire se compose majoritairement d'ions nitrate issus de la recombinaison dans l'atmosphère des oxydes d'azote émis lors de combustions incomplètes (déplacements routiers, industries, chauffages) et de l'ammoniac émis par les activités agricoles.

Pour Toulouse, les niveaux de particules observés en période hivernal sont dus à la combustion locale de bois mais également à la recombinaison des polluants gazeux en particules secondaires.

Moyenne sur l'Hiver 2015 - 2016

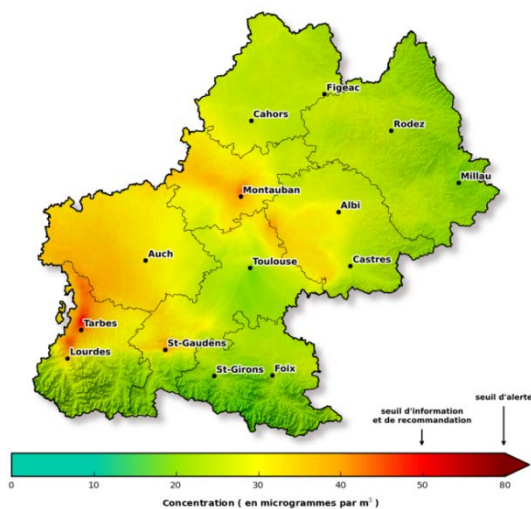


Graphes 6 : Concentration journalière moyenne et composition chimique des particules, hiver 2015-2016

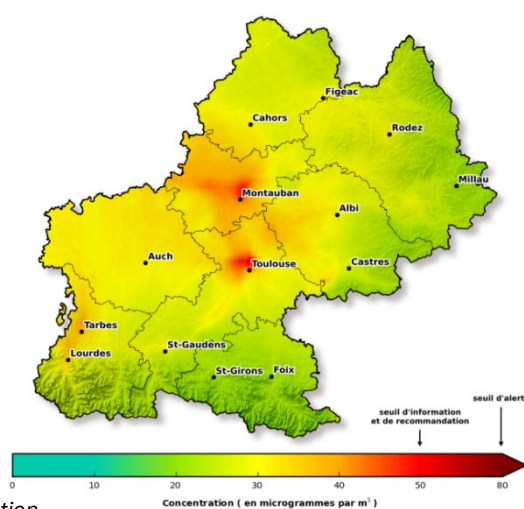
Exemple d'un épisode de pollution hivernal

Lors de périodes anticycloniques froides, les particules et les polluants gazeux émis localement s'accumulent dans

l'atmosphère, des concentrations élevées de particules sont mesurées ponctuellement.



Sur les Hautes-Pyrénées le 24 décembre 2015



Sur les agglomérations toulousaine et montalbanaise le 16 décembre 2015

Cartes 2 : Modélisation des niveaux de concentrations en particules sur la région Midi-Pyrénées - Modélisation CHIMERE ANALYSE

Sur les deux sites étudiés, la comparaison de la composition chimique des particules lors d'épisodes de pollution hivernaux (graphes 7) et de la composition chimique moyenne des particules en période hivernale (graphes 6) met en évidence :

- Des concentrations de particules deux à trois fois plus importantes lors des épisodes de pollution,
- Une hausse de la proportion des particules issues de la combustion de biomasse sur les deux zones étudiées. Cette source de particules est prédominante.
- Une diminution de la fraction secondaire des particules.

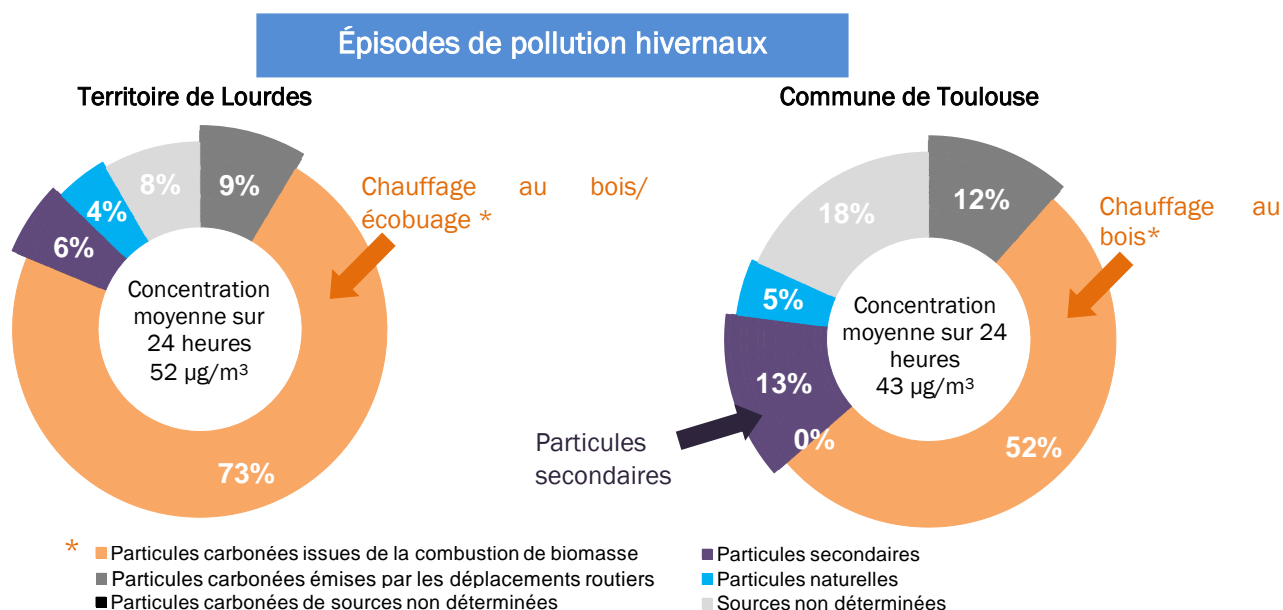
Les épisodes de pollution hivernaux observés pendant l'hiver 2015 - 2016 sur le territoire de Lourdes sont essentiellement dus aux émissions de particules par la combustion locale importante de bois (chauffage au bois,

écobuage et brulage de déchets végétaux) associées à des conditions météorologiques favorisant l'accumulation des polluants émis et une topographie encaissée.

Pour la commune de Toulouse, les épisodes de pollution sont également principalement dus à l'accumulation de particules issues du chauffage au bois émises localement en raison des conditions météorologiques peu favorables à la dispersion.

Afin d'améliorer la qualité de l'air en période hivernale, des actions de sensibilisation à destination des utilisateurs de chauffage au bois en zone urbaine, des agriculteurs pratiquant l'écobuage dans les vallées pyrénéennes et de tous les citoyens susceptibles de brûler leurs déchets végétaux à l'air libre peuvent être menées.

Il apparaît également nécessaire de poursuivre le suivi régulier des niveaux de particules émises par la biomasse.



Graphes 7 : Concentration moyennée sur 24 heures et composition chimique des particules lors d'un épisode de pollution hivernal

Des sources de particules plus variées au printemps

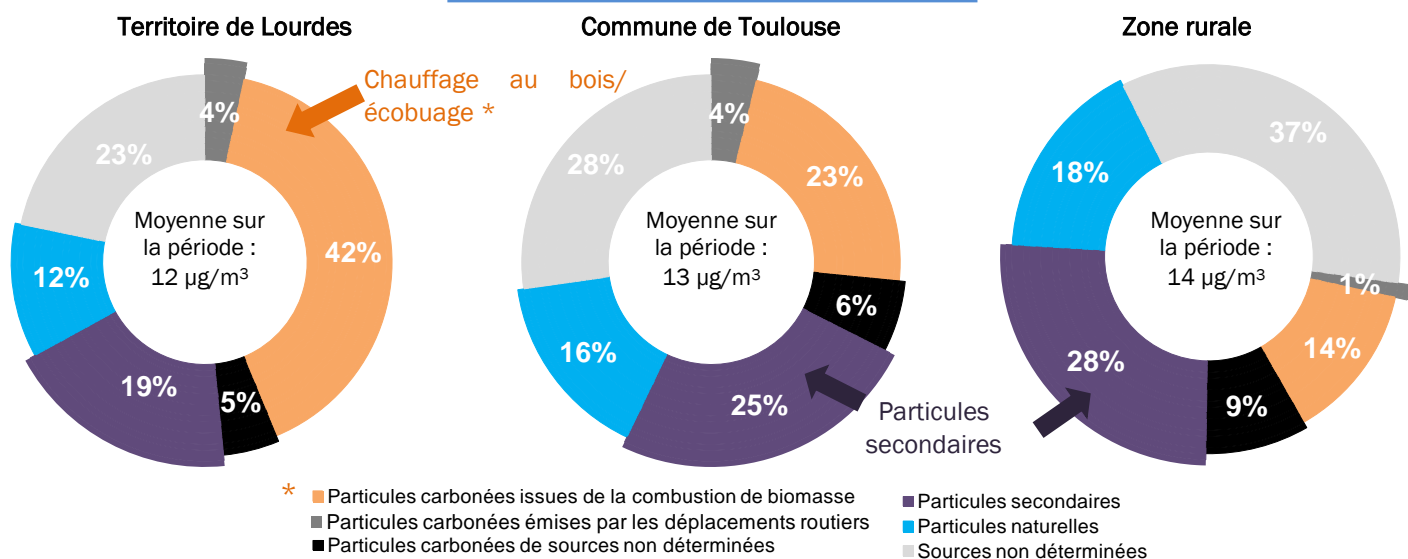
Au printemps, la contribution de la combustion de biomasse chute sur les trois sites de mesure. Sur le territoire de Lourdes, elle reste la première source de particules tandis que sur la zone rurale et la commune de Toulouse, la fraction secondaire devient la première source de particules.

Ces particules secondaires sont formées à partir de gaz précurseurs comme les oxydes d'azote (dispositifs de

chauffage et transport), l'ammoniac (activités agricoles) et les composés organiques volatils.

Au printemps, l'épandage d'engrais azoté par les agriculteurs entraîne la volatilisation d'ammoniac dans l'air. Ce polluant a une durée de vie longue dans l'atmosphère, il est donc transporté jusque dans les villes où il se recombine en particules secondaires en présence de polluants gazeux liés aux déplacements routiers et aux chauffages.

Moyenne début du printemps 2016



Graphes 8 : Concentration journalière moyenne et composition chimique des particules, début du printemps 2016

Des niveaux plus élevés en benzo(a)pyrène sur le territoire de Lourdes

Un hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP), le benzo(a)pyrène, a été analysé dans le cadre de la caractérisation chimique des particules. Il est considéré comme traceur de la pollution urbaine aux HAP et reconnu pour ces propriétés cancérigènes

En France, une valeur cible de 1 ng/m³ en moyenne annuelle est fixée pour ce polluant.

Les niveaux relevés sur le territoire de Lourdes et sur l'agglomération toulousaine pendant l'hiver 2015-2016 respectent la réglementation française.

En revanche, les niveaux de benzo(a)pyrène mesurés sur le territoire de Lourdes sont trois fois plus élevés que ceux relevés sur l'agglomération toulousaine (respectivement 0.31 ng/m³ contre 0.11 ng/m³).

Ces niveaux plus élevés sont dus à l'utilisation plus importante du chauffage au bois sur cette zone mais également à la pratique du brûlage de végétaux à l'air libre et de l'écobuage dans les zones montagneuses environnantes.

Objectif de qualité

Niveau de concentration à atteindre à long terme, 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

Valeur cible

Niveau fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou sur l'environnement, à atteindre dans la mesure du possible sur une période donnée

Valeur limite

Niveau fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou sur l'environnement, à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteint.

STATISTIQUES PAR POLLUANTS

Les niveaux de particules relevés sur le territoire de Lourdes et sur l'agglomération toulousaine respectent la valeur limite pour la protection de la santé de 40 µg/m³

ainsi que l'objectif de qualité de 30 µg/m³ fixés sur une année de mesures.

		PARTICULES DE DIAMETRE INFÉRIEUR A 10 µm			
		Respect de la réglementation	Valeurs réglementaires	Année 2015	Comparaison avec le fond urbain de Toulouse
Exposition de longue durée	Valeurs limites	OUI	40 µg/m ³ en moyenne annuelle	Territoire de Lourdes : 16 µg/m ³ Agglomération toulousaine : 19 µg/m ³	<
		OUI	50 µg/m ³ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours par an.	Territoire de Lourdes : 2 jours Agglomération toulousaine : 3 jours	=
	Objectif de qualité	OUI	30 µg/m ³ en moyenne annuelle	Territoire de Lourdes : 16 µg/m ³ Agglomération toulousaine : 19 µg/m ³	<

µg/m³ : microgramme par mètre cube

Cependant, des niveaux élevés de particules PM10 peuvent ponctuellement être mesurés sur le territoire de Lourdes comme sur l'agglomération toulousaine. Ainsi, pendant la période de mesures (du 22 novembre 2015 au 2 avril 2016), 4 dépassements du seuil d'information et

de recommandation ont été observés sur le territoire de Lourdes. Un dépassement du seuil d'information et de recommandation a été relevé sur cette même période pour l'agglomération toulousaine.

NOMBRE D'ÉPISODES DE POLLUTION au cours de l'hiver 2015-2016

		Type de dépassement	Nombre	Dates
Exposition de courte durée	Seuil de recommandation et d'information		Territoire de Lourdes : 4 Agglomération toulousaine : 2	16 décembre 2015, 24 et 25 décembre 2015 et 23 février 2016 Le 21 novembre et le 17 décembre 2015
	Seuil d'alerte		0	-

		BENZO(a)PYRENE			
		Respect de la réglementation	Valeurs réglementaires	Période du 22 novembre 2015 au 2 avril 2016	Comparaison avec le fond urbain de Toulouse
Exposition de longue durée	Valeur cible	OUI	1 ng/m ³ en moyenne annuelle	1 jour tous les 6 jours : Territoire de Lourdes : 0.31 ng/m ³ Agglomération toulousaine : 0.11 ng/m ³	>

ng/m³ : nanogramme par mètre cube



ANNEXE I : RÉSULTATS DES MESURES DE PARTICULES DE DIAMÈTRE INFÉRIEUR A 10 μ M DANS L'ENVIRONNEMENT DE LOURDES

LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

- Respect des valeurs réglementaires pour la protection de la santé humaine
- Des épisodes ponctuels de pollution mesurés

LES PARTICULES : SOURCES ET EFFETS SUR LA SANTE ET L'ENVIRONNEMENT

SOURCES

Les particules peuvent être d'origine naturelle (embruns océaniques, éruption volcaniques, feux de forêt, érosion éolienne des sols, pollens ...) ou anthropique (liées à l'activité humaine). Dans ce cas, elles sont issues majoritairement de la combustion incomplète des combustibles fossiles (circulation routière, dispositifs de chauffage, sidérurgie, cimenteries, incinération de déchets, manutention de produits pondéraux, minerais et matériaux, centrale thermique ...).

Une partie d'entre elles, les particules secondaires, se forme dans l'air par réaction chimique à partir de polluants précurseurs comme les oxydes de soufre, les oxydes d'azote, l'ammoniac et les COV. On distingue les particules de diamètre inférieur à 10 microns (PM10), à 2,5 microns (PM2.5) et à 1 micron (PM1).

PM = Particulate Matter (matière particulaire)

COMPOSITION CHIMIQUE

Les particules considérées dans cette étude sont les particules PM10 (particules dont le diamètre moyen est inférieur à 10 µm). Elles sont caractérisées par une fraction organique et une fraction inorganique.

La fraction organique désigne l'ensemble constitué par le carbone et les atomes constituant cette matière (oxygène, hydrogène, azote, soufre...). Elle est composée de différentes grandes familles chimiques tels que les acides, alcanes, HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), méthoxyphénols, sucres... Certains composés organiques peuvent être émis par un type d'activité spécifique. **Le lévoglucosan est ainsi un traceur reconnu du brulage de la cellulose et donc de l'ensemble des combustions de bois. Il n'existe pas de traceurs spécifiques permettant de distinguer les émissions de particules issues des feux de cheminées des celles issues du brulage de végétaux (déchets ou écobuage).**

La fraction inorganique est caractérisée par le carbone élémentaire (EC), les anions et les cations majeurs (chlorures, sulfate, nitrate, phosphate, sodium, ammonium, potassium, magnésium et calcium). La fraction inorganique est composée également d'espèces chimiques telles que les métaux lourds, non analysés dans cette étude.

La composition chimique des particules est donc hétérogène dans le temps et dans l'espace. Cependant, il existe des composés dits "majoritaires" qui forment une grande part de la masse des particules. Certains de ces composés sont directement obtenus par analyse chimique :

- Le carbone élémentaire (EC) est un composé purement primaire, apparenté à du graphite pur. Il

est essentiellement émis lors des combustions de combustibles fossiles (charbon, gazole, essence, kérosène, gaz naturel...) ou renouvelables (biomasse...).

- Les ions nitrates (NO₃⁻), ammonium (NH₄⁺) et les sulfates (SO₄²⁻), sont des espèces secondaires issues de réaction de précurseurs gazeux, NO_x et SO₂, majoritairement émis par des activités anthropiques. Avec la matière organique, ils représentent la part la plus importante des PM₁₀. Ces espèces se retrouvent principalement sous forme de nitrate d'ammonium (NH₄NO₃) et de sulfate d'ammonium ((NH₄)₂SO₄). Les sources de NH₃ sont très principalement liées à l'agriculture. HNO₃ est quant à lui formé dans l'atmosphère à partir de l'oxydation des NO_x, eux-mêmes principalement émis lors des processus de combustion et dans une moindre mesure, à partir des sols fertilisés. Enfin, les espèces soufrées sont principalement émises par l'activité humaine (combustions et industrie), le phytoplancton et activité volcanique. Ces espèces sont généralement oxydées en SO₂, puis H₂SO₄, gaz très hydrosoluble pouvant être rapidement lessivé et/ou se retrouver sous forme particulaire².

En revanche, l'estimation des concentrations de matière organique (OM), de sels marins et de poussières terrigènes (ou « dust ») nécessite l'utilisation de traceurs.

Les traceurs communément utilisés sont le carbone organique pour la matière organique, Na⁺ pour les sels marins et nssCa²⁺ (calcium non marin) pour les particules terrigènes.

EFFETS SUR LA SANTE

Plus une particule est fine, plus sa toxicité potentielle est élevée. Les plus grosses particules sont retenues par les voies aériennes supérieures. Les plus fines pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire où elles peuvent provoquer une inflammation et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Les particules ultra fines sont suspectées de provoquer également des effets cardio-vasculaires. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes : c'est notamment le cas de certaines particules émises par les moteurs diesel qui véhiculent certains hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Une corrélation a été établie entre les niveaux élevés de PM₁₀ et l'augmentation des admissions dans les hôpitaux et des décès, liés à des pathologies respiratoires et cardiovasculaires.

Ces particules sont quantifiées en masse mais leur nombre peut varier fortement en fonction de leur taille.

¹ Putaud, J. P., R. Van Dingenen, A. Alastuey et al (2010). "A European aerosol phenomenology - 3: Physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across Europe." Atmospheric Environment 44(10): 1308-1320.

² Delmas, R., Mégie, G., Peuch, V.-H. : Physique et chimie de l'atmosphère, Collection Echelles, Edition Belin, 640 pp., 2005.

Particules PM10 : des épisodes de pollution ponctuels

Avec 16 µg/m³ et 19 µg/m³ en moyenne sur l'année 2015, les sites de Lourdes et de l'agglomération toulousaine respectent les réglementations fixées sur une année.

		PARTICULES DE DIAMÈTRE INFÉRIEUR A 10 µm			
		Respect de la réglementation	Valeurs réglementaires	Année 2015	Comparaison avec le fond urbain de Toulouse
Exposition de longue durée	Valeurs limites	OUI	40 µg/m ³ en moyenne annuelle	Territoire de Lourdes : 16 µg/m ³ Agglomération toulousaine : 19 µg/m ³	<
		OUI	50 µg/m ³ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours par an	Territoire de Lourdes : 2 jours Agglomération toulousaine : 3 jours	
	Objectif de qualité	OUI	30 µg/m ³ en moyenne annuelle	Territoire de Lourdes : 16 µg/m ³ Agglomération toulousaine : 19 µg/m ³	<

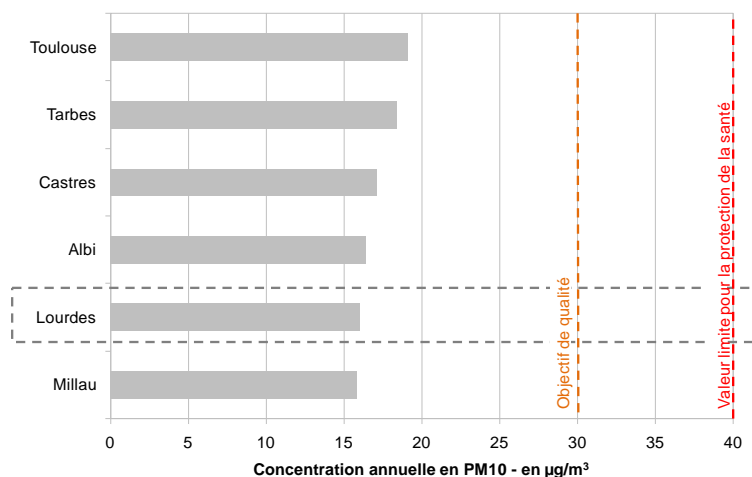
µg/m³ : microgramme par mètre cube

Cependant, les sites de l'agglomération toulousaine et de Lourdes sont exposés ponctuellement à des pics de pollution aux particules au cours de l'hiver.

NOMBRE D'ÉPISODES DE POLLUTION au cours de l'hiver 2015 - 2016		
Type de dépassement	Nombre	Dates
Exposition de courte durée	Seuil de recommandation et d'information	Territoire de Lourdes : 4 Agglomération toulousaine : 2
	Seuil d'alerte	0

Des concentrations moyennes plus faibles sur le territoire de Lourdes

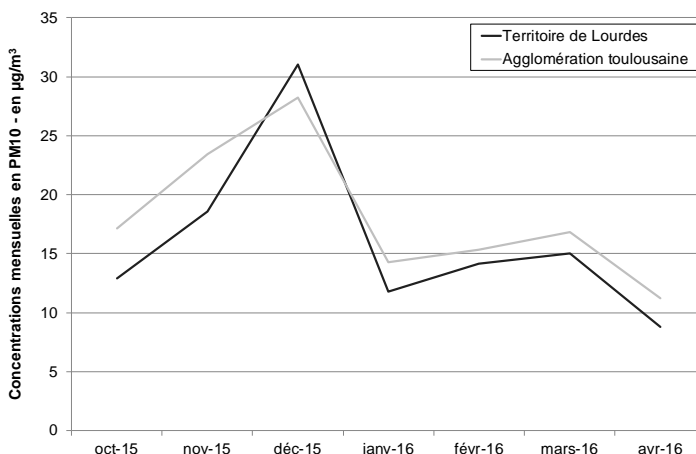
En 2015, la station de mesures implantée en zone urbaine à Lourdes enregistre une concentration annuelle en particules PM10 qui reste inférieure à celles mesurées sur le reste du territoire de Midi-Pyrénées. Les niveaux mesurés sont quelques µg/m³ inférieurs à ceux rencontrés sur les agglomérations de Toulouse et de Tarbes.



Graphe 9 : Concentrations annuelles en particules PM10 sur le réseau de surveillance de la qualité de l'air en Midi-Pyrénées - année 2015.

Les concentrations mensuelles sur le territoire de Lourdes suivent la même évolution que celles observées sur l'agglomération toulousaine.

Elles sont globalement plus faibles sur la période hivernale. Décembre est le seul mois marqué par des niveaux plus élevés sur le territoire de Lourdes en comparaison de l'agglomération toulousaine. Cette période est marquée par des conditions météorologiques favorables à l'accumulation des particules dans les basses couches de l'atmosphère (conditions anticycloniques). Les épisodes de pollution observés étaient des épisodes locaux.

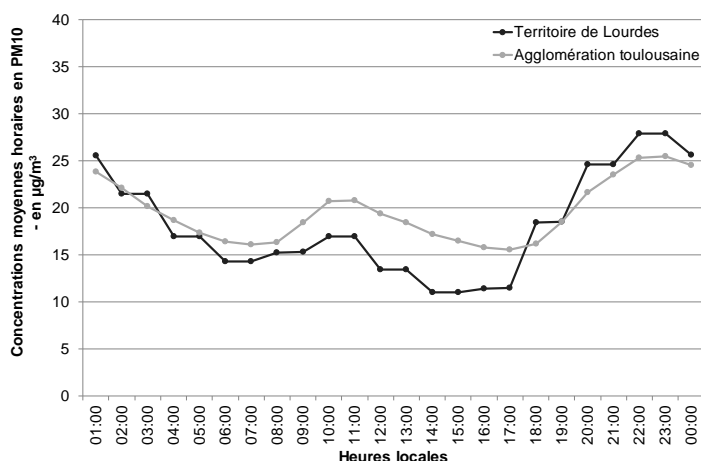


Graphe 10 : Évolution des concentrations mensuelles en particules PM10 sur le territoire de Lourdes et l'agglomération toulousaine entre octobre 2015 et avril 2016.

L'impact du chauffage en hiver sur les niveaux de particules légèrement plus important sur Lourdes en comparaison de Toulouse

La station de mesures implantée sur le territoire de Lourdes met en évidence une évolution des niveaux moyens journaliers de particules PM10 légèrement différente de celle rencontrée sur l'agglomération toulousaine.

Ainsi, sur Lourdes, les niveaux de concentration en PM10 sont inférieurs à ceux de l'agglomération toulousaine entre 4h00 à 17h00, heures locales. En revanche, les niveaux moyens rencontrés en soirée et en début de nuit, pouvant être attribués au fonctionnement du chauffage résidentiel, sont plus élevés de plusieurs microgrammes par m³.



Graphe 11 : Évolution des concentrations en particules PM10 moyennées pendant la période hivernale 2015-2016

Le chauffage : principale source émettrice de particules PM10 sur le Pays de Lourdes

Sur le territoire de Lourdes, 58 tonnes de particules PM10 ont été émises pour l'année 2014 :

- 38% de ces particules sont émises par le secteur agricole (travail du sol, des récoltes et de l'utilisation d'engins agricoles). C'est le 1^{er} contributeur sur l'année.
- 37% sont issues du chauffage résidentiel et tertiaire. Le chauffage au bois en est le contributeur principal. En effet, bien que ce combustible ne soit utilisé que par 8% des logements principaux sur la zone étudiée, il est à l'origine de 98% des émissions de particules PM10 du chauffage résidentiel et tertiaire,
- Le secteur du trafic routier contribue quant à lui à 22% des émissions en particules PM10.

Il est à noter que le secteur résidentiel / tertiaire est soumis à une saisonnalité, le chauffage n'étant utilisé que pendant l'hiver. **En période hivernale, la part de la contribution du chauffage résidentiel et tertiaire sur les émissions de particules PM10 devient prédominante. Ce secteur émet alors les 2/3 des particules PM10 rejetées dans l'atmosphère.**

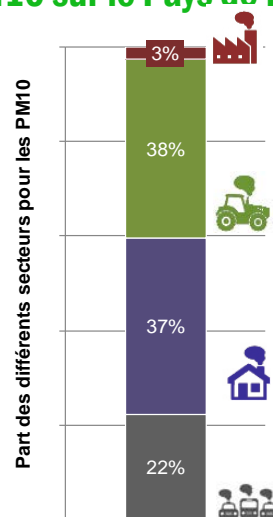
L'inventaire présenté ici **ne prend pas en compte les particules émises lors du brûlage de végétaux à l'air libre ou lors d'écobuages** alors que cette technique de débroussaillage par le feu est largement pratiquée dans les Pyrénées. Ainsi, pendant l'hiver 2015-2016 cette pratique a temporairement été interdite dans les Hautes-Pyrénées en raison de la multiplication de feux d'écobuage non maîtrisés nécessitant l'intervention des pompiers.

Or, le brûlage de végétaux engendre l'émission non négligeable de polluants dont les particules. En effet, **le brûlage de 50 kg de déchets verts émet autant de particules que 9 800 km parcourus par une voiture diesel récente en circulation urbaine, 37 900 km pour une voiture essence.**

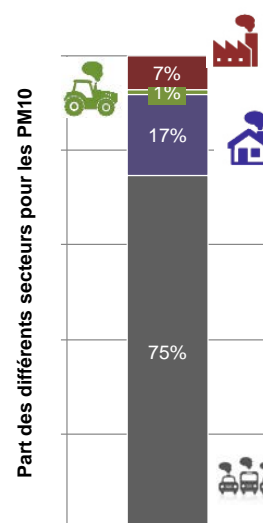
Sur la commune de Toulouse, en 2014, 565 tonnes de particules PM10 ont été émises.

Le premier secteur émetteur de particules PM10 est le trafic routier qui contribue à 75% des émissions.

Le secteur résidentiel et tertiaire, est, quant à lui, le second secteur contributeur avec 17% des émissions tandis que le troisième secteur est le secteur industriel.



Graphe 12 : Données d'émission sur le pays de Lourdes pour l'année 2014 (hors carrières)- source : Act'air_2014_V3.2



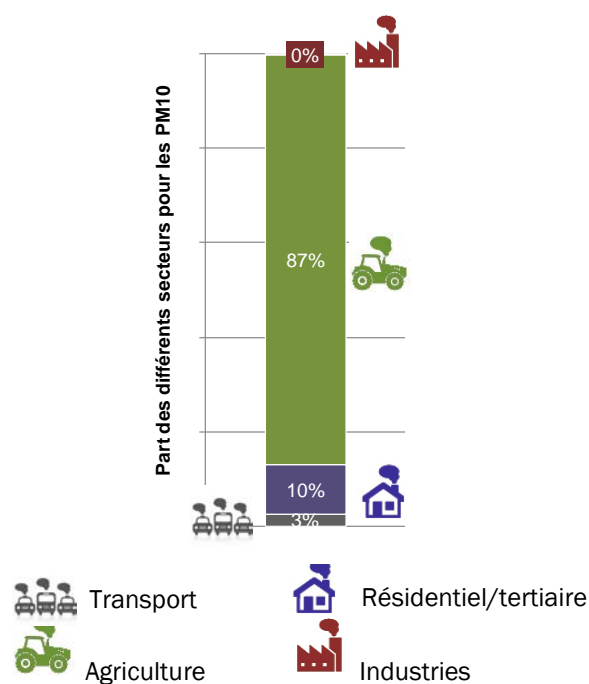
Graphe 13 : Données d'émission sur Toulouse pour l'année 2014 - source : Act'air_2014_V3.2

Sur la zone rurale, 57 tonnes de particules PM10 ont été émises en 2014.

Le secteur agricole, avec 87% des émissions de particules émises, est le contributeur majoritaire de la zone. Elles proviennent essentiellement du travail du sol, des récoltes et de l'utilisation d'engins agricoles.

Le secteur résidentiel et tertiaire est le second secteur contributeur avec 10% des émissions.

Avec 3% des émissions de particules PM10 par les transports, ce contributeur est marginal sur la zone.



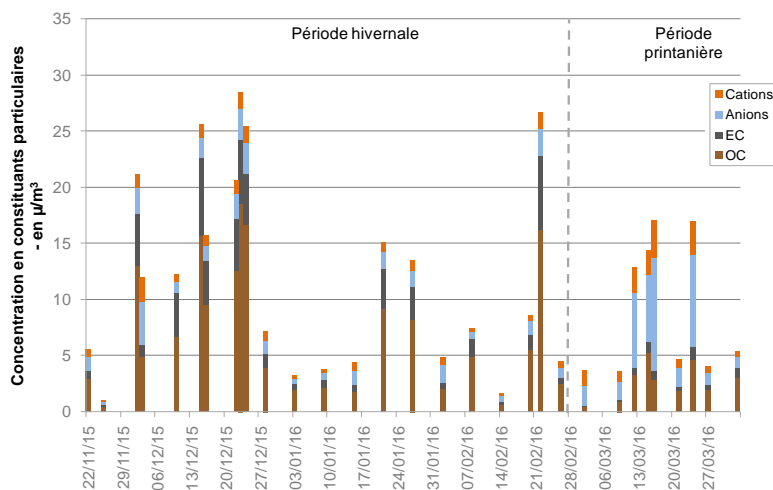
Grphe 14 : Données d'émission sur la zone rurale pour l'année 2010 (hors carrières)- source : Act'air_2014_V3.2

ANNEXE III : ÉTUDE DE LA CORRELATION ENTRE COMPOSES ANALYSES ET PM

Sur le territoire de Lourdes, l'étude des concentrations des différents éléments analysés sur la période de mesures a mis en évidence une répartition de ces éléments différente en fonction de la période de mesures.

Entre le 22 novembre 2015 et le 28 février 2016, période appelée dans le graphe ci-dessous et dans la suite du rapport "période hivernale", les particules sont essentiellement composées de carbone organique (OC) et de carbone élémentaire (EC), deux composés produits par les procédés de combustion.

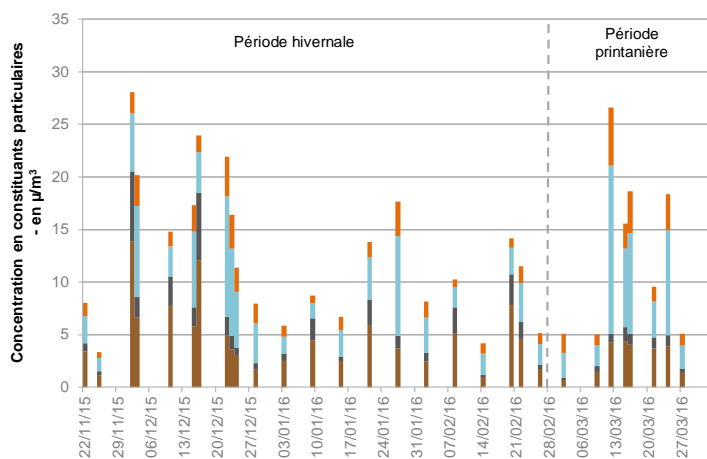
Après le 1^{er} mars, période appelée par la suite "période printanière", les concentrations en espèces ioniques, et plus particulièrement en anions, augmentent fortement, tandis que les niveaux en carbone organique (OC) et carbone élémentaire (EC) diminuent.



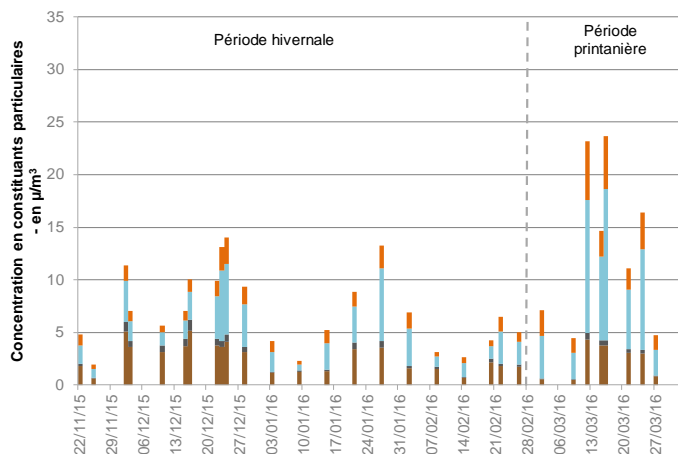
Graph 15 : Répartition des principaux éléments analysés pour chaque jour étudié - territoire de Lourdes

L'étude des concentrations des différents éléments analysés sur la période de mesures pour les deux autres sites étudiés, la commune de Toulouse et la zone rurale, ne met pas en évidence cette variation de la répartition de ces éléments en fonction de la période de mesures.

Cependant, afin de comparer les 3 sites de mesures, les compositions chimiques des particules de la commune de Toulouse et la zone rurale seront étudiées en prenant en compte les 2 périodes mises en évidence sur le territoire de Lourdes.



Graph 16 : Répartition des principaux éléments analysés pour chaque jour étudié - Toulouse



Graph 17 : Répartition des principaux éléments analysés pour chaque jour étudié - Zone rurale

L'intensité de la liaison linéaire pouvant exister entre les différents éléments mesurés a été étudiée en calculant le coefficient de corrélation r . Le coefficient de corrélation r est un indice statistique qui exprime l'intensité et le sens (positif si la relation est croissante ou négatif si la relation est décroissante) de la relation linéaire entre deux variables quantitatives.

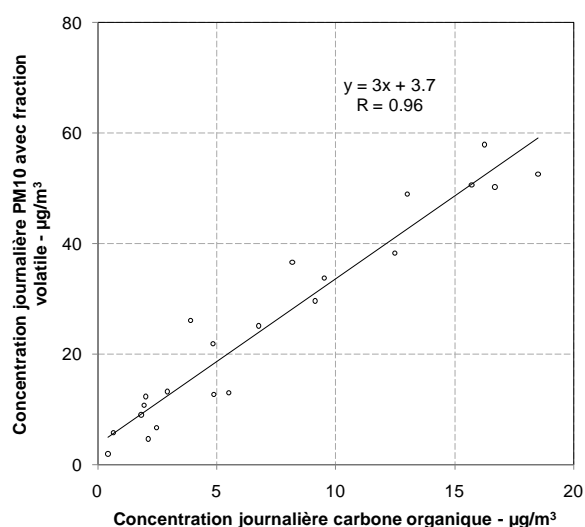
Ce coefficient varie entre -1 et +1 ; l'intensité de la relation linéaire sera donc d'autant plus forte que la valeur du coefficient est proche de +1 ou de - 1, et d'autant plus faible qu'elle est proche de 0.

Territoire de Lourdes

Pendant la période hivernale, les concentrations en particules PM10 apparaissent très fortement corrélées aux espèces suivantes :

- Le carbone organique (OC)
- Le carbone élémentaire (EC)

Ces deux composés sont produits par les procédés de combustion. Leur forte corrélation indique une origine similaire.



Graphie 18 : étude de la corrélation entre le carbone organique et les particules PM10 pour le territoire de Lourdes

Les particules PM10, le carbone organique et le carbone élémentaire sont fortement corrélés avec différentes espèces :

- Le lévoglucosan, le mannosan, le galactosan : 3 monosaccharides anhydres produits de la dégradation de la cellulose par pyrolyse à des températures supérieures à 300° Celsius.
- Le potassium,
- Le benzo(a)pyrène.

Ces composés constituent des traceurs non ambigus de la combustion de la biomasse et sont très largement utilisés dans la recherche pour étudier l'influence de cette source.

La corrélation forte existant entre le carbone organique et les traceurs de la combustion de biomasse suggère

une influence importante des émissions par combustion de bois et de végétaux sur les concentrations de matière organique. Le lien existant entre matière organique et concentrations en particules, traduit quant à lui, une forte influence des émissions par combustion de bois et de végétaux sur les concentrations en particules.

Sur le territoire de Lourdes, les concentrations en particules présentent également une corrélation forte (mais moindre que celles présentées ci-dessous) avec :

- Les nitrates NO_3^- ,
- L'ammonium NH_4^+ ,
- Les phosphates PO_4^{3-}

Pendant la période printanière, les espèces les plus fortement corrélées aux particules PM10 changent au profit des espèces ioniques suivantes :

- L'ammonium NH_4^+
- Les sulfates SO_4^{2-}
- Les nitrates NO_3^-
- Les phosphates PO_4^{3-}

Ces ions secondaires se forment à partir des gaz présents dans l'atmosphère : oxydes d'azote, dioxyde de soufre et ammoniac. Les oxydes d'azote et le dioxyde de soufre sont émis par tous les procédés de combustion (le trafic routier, le chauffage, les industries). Pour les oxydes d'azote, il est à noter que la source agricole existe aussi tandis que l'ammoniac est essentiellement émis par le secteur agricole.

Toulouse et la zone rurale

Pour la période hivernale, les concentrations en particules PM10 mesurées sur la commune de Toulouse et en zone rurale sont fortement corrélées au carbone organique (OC) et au carbone élémentaire (EC) issus des procédés de combustion.

Le carbone organique et le carbone élémentaire sont fortement corrélés aux 3 monosaccharides anhydres : le lévoglucosan, le mannosan et le galactosan, traceurs de la combustion de biomasse. Ces résultats montrent une influence forte des émissions par combustion de bois sur les concentrations de matière organique.

En revanche, l'influence des émissions par combustion de bois sur les concentrations en particules est moyenne.

Pour la période printanière, les particules PM10 rencontrées sur la commune de Toulouse et la zone rurale restent fortement corrélées au carbone organique. En outre, une corrélation forte apparaît avec les ions nitrates NO_3^- et ammonium NH_4^+ formés dans l'atmosphère à partir de précurseurs gazeux que sont l'ammoniac (NH_3) et le dioxyde d'azote (NO_2). Les sources d'ammoniac sont très principalement liées à l'agriculture. HNO_3 est quant à lui formé dans l'atmosphère à partir de l'oxydation des NO_x , eux-mêmes principalement émis lors des processus de combustion, mais aussi à partir des sols fertilisés.

ANNEXE III : COMPOSITION CHIMIQUE DES PARTICULES

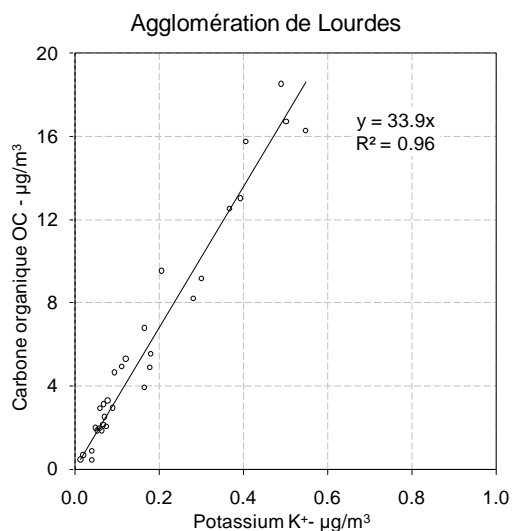
Estimation des concentrations en matière organique (OM)

La matière organique a des origines diverses. Elle peut être d'origine anthropique (formée lors des combustions incomplètes), soit directement produite à l'émission, soit par conversion des gaz présents dans les fumées. Elle peut également être constituée de particules biogéniques primaires telles que les spores ou les pollens. La matière organique n'est pas mesurée directement : elle est déduite de la mesure de la concentration de carbone organique (OC) analysée, multipliée à un coefficient issu de la littérature qui permet de prendre en compte les autres atomes composant la matière organique.

En air ambiant, ce ratio dépendant des sources d'émission de matière organique est variable d'un site à l'autre et selon la saison.

Pour l'exploitation des mesures de cette étude, il a été utilisé un coefficient variable selon les sites.

En effet, sur Lourdes, il est apparu l'existence d'une forte influence des émissions par combustion de bois mise en évidence par la bonne corrélation obtenue entre le carbone organique (OC) et le potassium (K+) couramment utilisé comme traceur de la combustion de biomasse (Andrea et al, 1983)³, laquelle suggère une forte influence des émissions par combustion de bois sur les concentrations de matière organique. Cette corrélation est similaire à celle qui a été mise en évidence par l'ORAMIP dans la vallée du Lot au cours de l'hiver 2013-2014⁴.



Graph 19 : étude de la corrélation entre le carbone organique et le potassium sur le territoire de LOURDES

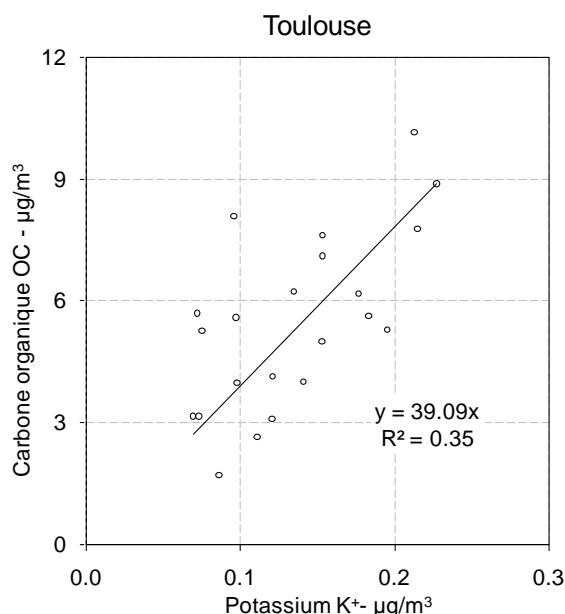
³ Andreae, M.O., 1983. Soot carbon and excess fine potassium: long-range transport of combustion-derived aerosols. Science, 220, 1148-1151.

⁴ ORAMIP, 2015. Caractérisation chimique des particules en trois sites de Midi-Pyrénées.

⁵Turpin, B.J., Lim, H.-J., 2001. Species Contributions to PM_{2.5} Mass Concentrations: Revisiting Common Assumptions for

L'aérosol organique émis par ce type de source est connu pour être fortement oxydé (Mayol-Bracero et al., 2002) et, à ce titre, présente un rapport OM/OC particulièrement élevé (de l'ordre de 2,4 selon Turpin et Lim, 2001⁵). Ce coefficient apparaît trop élevé pour le territoire de Lourdes lors de la réalisation de la fermeture chimique. **Un coefficient de 2.3 est donc appliqué pour ce site.**

Sur le site de Toulouse, la corrélation entre le carbone organique (OC) et le potassium (K+) indique une influence beaucoup plus faible des émissions par combustion de bois sur les concentrations de matière organique. Pang et al, 2006⁶ indique un coefficient de 1.6 ± 0.2 pour les zones urbaines. **Le coefficient de 1,6, permettant une fermeture chimique correcte est appliqué pour Toulouse.**

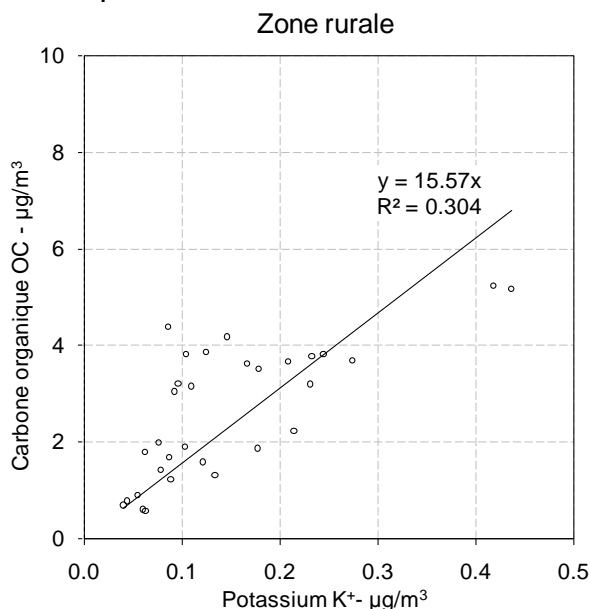


Graph 20 : étude de la corrélation entre le carbone organique et le potassium sur le site de Toulouse

Estimating Organic Mass. Aerosol Science and Technology 35, 602-610

⁶ Pang, Y., Turpin, B.J., Gundel, L.A., 2006. On the Importance of Organic Oxygen for Understanding Organic Aerosol Particles. Aerosol Science and Technology 40, 128-133

Enfin, pour le site rural, on s'attend à trouver un aérosol organique âgé, et donc plus fonctionnalisé que sur un site urbain caractérisé par un rapport OM/OC relativement élevé. Par ailleurs, la bonne corrélation entre le carbone organique et le potassium mise en évidence pour ce site indique une forte influence des émissions par combustion de bois. **Pour tenir compte de cette fonctionnalisation de la matière organique, le facteur de conversion OC/OM de 1.7 fixé dans l'étude CAMERA pour les stations rurales est choisi.**



Graph 21 : étude de la corrélation entre le carbone organique et le potassium pour la zone rurale

En résumé :

- OM Toulouse = 1,6 x OC (la part de la combustion bois apparaissant comme faible sur ce site)
- OM agglomération de Lourdes = 2.3 x OC
- OM zone rurale = 1,7 x OC (choisi dans l'étude CAMERA pour les stations rurales).

Estimation des concentrations en sels marins

Pour les sels marins, trois méthodes différentes sont proposées dans la littérature pour obtenir la teneur en

sels marins des particules. Pour appliquer ces méthodes, l'hypothèse est faite que le sodium (Na^+) et le chlore (Cl^-) proviennent uniquement des émissions de sels marins. Deux de ces méthodes ne prennent pas en compte la perte de chlore pouvant avoir lieu lors du prélèvement des aérosols ce qui peut affecter une très grande fraction de cet ion. La méthode prenant en compte la concentration en chlore mesurée a donc été choisie⁷.

$$[\text{Sels marins}] = [\text{Cl}^-] + [\text{Na}^+] \times 1.47$$

La validité de l'utilisation de sodium et du chlore comme traceur de ces particules est vérifiée ici par les bonnes corrélations observées entre Na^+ et Cl^- , et entre Na^+ et Mg^{2+} (figure 5), le magnésium étant également présent dans le sel de mer.

Estimation des concentrations en poussières crustales

Les particules crustales sont les particules issues de l'érosion, de la remise en suspension de particules (notamment par le trafic routier) ou par le vent.

Les contributions des apports crustaux non marins aux PM peuvent être estimées à l'aide de deux méthodes issues de la littérature utilisant les concentrations en calcium et sodium mesurées ou les concentrations en métaux et éléments traces. Les métaux n'ayant pas été analysés, la méthode utilisant les concentrations en calcium et sodium mesurées a été utilisée⁸. Le calcium non marin (nss Ca^{2+} calculé à partir des concentrations en calcium et en sodium) est multiplié par 5,6.

$$[\text{Pouss. crustales}] = \left([\text{Ca}^{2+}] - \frac{[\text{Na}^+]}{26} \right) \times 5.6$$

Il faut cependant rappeler qu'une part non négligeable, mais très délicate à quantifier, de nss Ca^{2+} est susceptible de provenir des aérosols émis par combustion de bois. Les concentrations de particules crustales calculées ici sont donc considérées comme une estimation des concentrations maximales de ce type de particules.

⁷ Putaud J.P., Van Dingenen E., Alastuey A., Bauer H. et al. 2010. A European aerosol phenomenology – 3: Physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across Europe - Atmospheric Environment 44, 1308 - 1320.

⁸ Putaud, J.P. Van Dingenen E., Dell'Acqua, A et al. 2004. Size-segregated aerosol mass closure and chemical composition in Monte Cimone during MINATROC. Atmospheric Chemistry and Physics 4, 889 - 902.

ANNEXE IV : BILAN DE MASSE

Les analyses chimiques réalisées dans cette étude permettent de faire un bilan de masse des concentrations totales en PM₁₀ et de déterminer leurs sources principales^{9 10}.

Validation des analyses chimiques à l'aide de l'exercice de fermeture chimique

Pour valider les résultats des analyses chimiques, un exercice de fermeture chimique a été mené. Il consiste à comparer la somme des masses de chacune des composantes chimiques principales mesurées (ou estimées) à la masse totale de PM₁₀ mesurée de façon indépendante (dans le cas présent, par TEOM-FDMS). Sous une forme simplifiée, la fermeture chimique peut s'écrire sous la forme d'une équation :

$$[PM_{10}]_{\text{chimique}} = [EC] + [OM] + [NO_3^-] + [NH_4^+] + [nssSO_4^{2-}] + [nssK^+] + \left[\begin{array}{l} \text{sels} \\ \text{marins} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{poussières} \\ \text{crustales} \end{array} \right] + \text{Part non identifiée des PM}$$

Avec :

[PM₁₀] est la concentration massique (en µg/m³) des particules de diamètre inférieur à 10 µm déterminée par pesée gravimétrique

[EC] est la concentration massique (en µg/m³) de carbone élémentaire.

[OM] est la concentration massique (en µg/m³) de la Matière organique particulaire calculée comme [OM] = f X [OC]. [OC] est la concentration massique (exprimée en µg/m³) de carbone organique.

[NO₃⁻] est la concentration massique (en µg/m³) des ions nitrate.

[NH₄⁺] est la concentration massique (en µg/m³) des ions ammonium.

[nss SO₄²⁻] est la concentration massique du sulfate non marin = [SO₄²⁻]-0.251 [Na⁺]

[nss K⁺] est la concentration massique du potassium non marin = [K⁺]-0.037 [Na⁺]

[sels marins] est la concentration massique (en µg/m³) des sels de mers

[poussières crustales] est la concentration massique (en µg/m³) des particules terrigènes

⁹ Sciare J, oikonomou k, Cachier h, et al. Aerosol mass closure and reconstruction of the light scattering coefficient over the Eastern Mediterranean Sea during the MINOS campaign. Atmospheric Chemistry and Physics 2005 ; 5 : 2253–65.

¹⁰ Bressi M, Sciare J, Ghersi V et al. A one-year comprehensive chemical characterization of fine aerosols (PM_{2.5}) at urban,

suburban and rural background sites in the region of Paris (France). Atmospheric Chemistry and Physics, 13 : 7825-44

La part non identifiée des PM (appelée «Autres» dans ce rapport) correspond à l'ensemble des espèces chimiques non quantifiées par les analyses (part restante vis-à-vis de la masse totale des PM). Il peut arriver que la concentration reconstruite soit parfois légèrement supérieure à la concentration mesurée, du fait des incertitudes de pesée, d'analyses et l'utilisation d'équations empiriques pour déterminer la concentration de certains constituants de l'atmosphère. Dans ce cas, la concentration de PM est la concentration reconstruite.

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air indique que cet exercice est affecté par cinq sources d'incertitude principales¹¹:

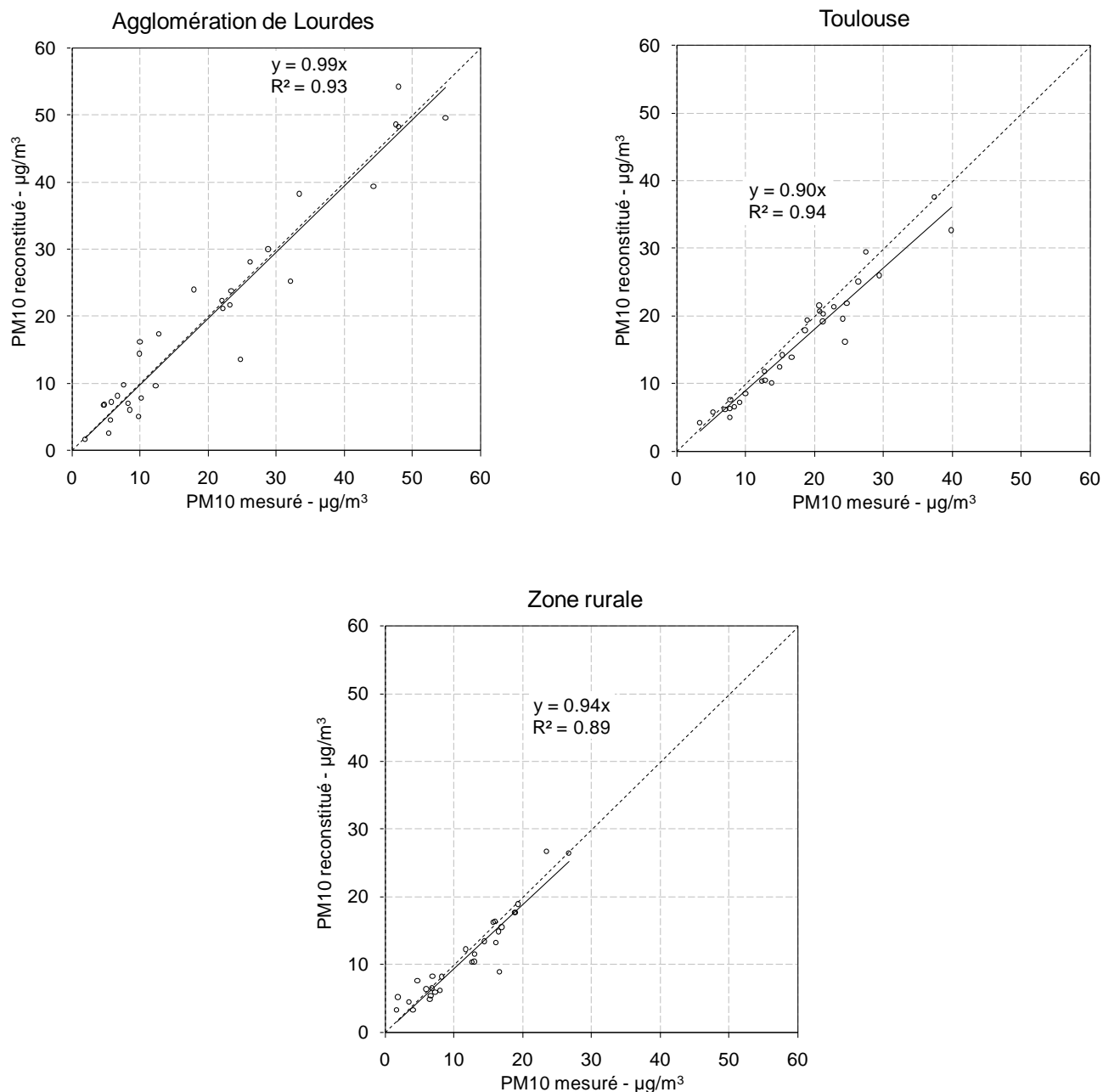
- 1- L'incertitude sur la masse totale mesurée par TEOM-FDMS.
- 2- L'incertitude liée aux hypothèses d'estimation des concentrations de poussières terrigènes.
- 3- L'incertitude liée aux hypothèses d'estimation des concentrations en sels de mer.
- 4- L'incertitude sur le facteur de conversion OC-OM.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

Les figures suivantes représentent la comparaison entre la concentration en PM mesurée par les analyseurs (à laquelle nous avons enlevé la part des volatiles) et la concentration en PM reconstruite à partir des résultats des analyses chimiques sur les trois sites. Ces deux concentrations doivent être égales. **"L'exercice de fermeture chimique" permet donc de vérifier la cohérence entre les mesures gravimétriques (pesées) et les mesures chimiques.**

¹¹ Bessagnet B, Meleux F., Favez O., Chiappini L. Métrologie des particules - Comparaison Modèle/Mesure, LCSQA 2010

Une bonne corrélation est constatée entre la somme des espèces majoritaires calculées/estimées par analyses

chimiques et les concentrations journalières mesurées par TEOM-FDMS en soustrayant la part des volatiles.



Graph 22 : Fermeture chimique des particules PM10 sur le territoire de LOURDES, TOULOUSE et en ZONE RURALE. Comparaison entre les mesures par FDMS auxquelles la fraction volatile a été soustraite et la masse reconstruite en sommant les principaux constituants.

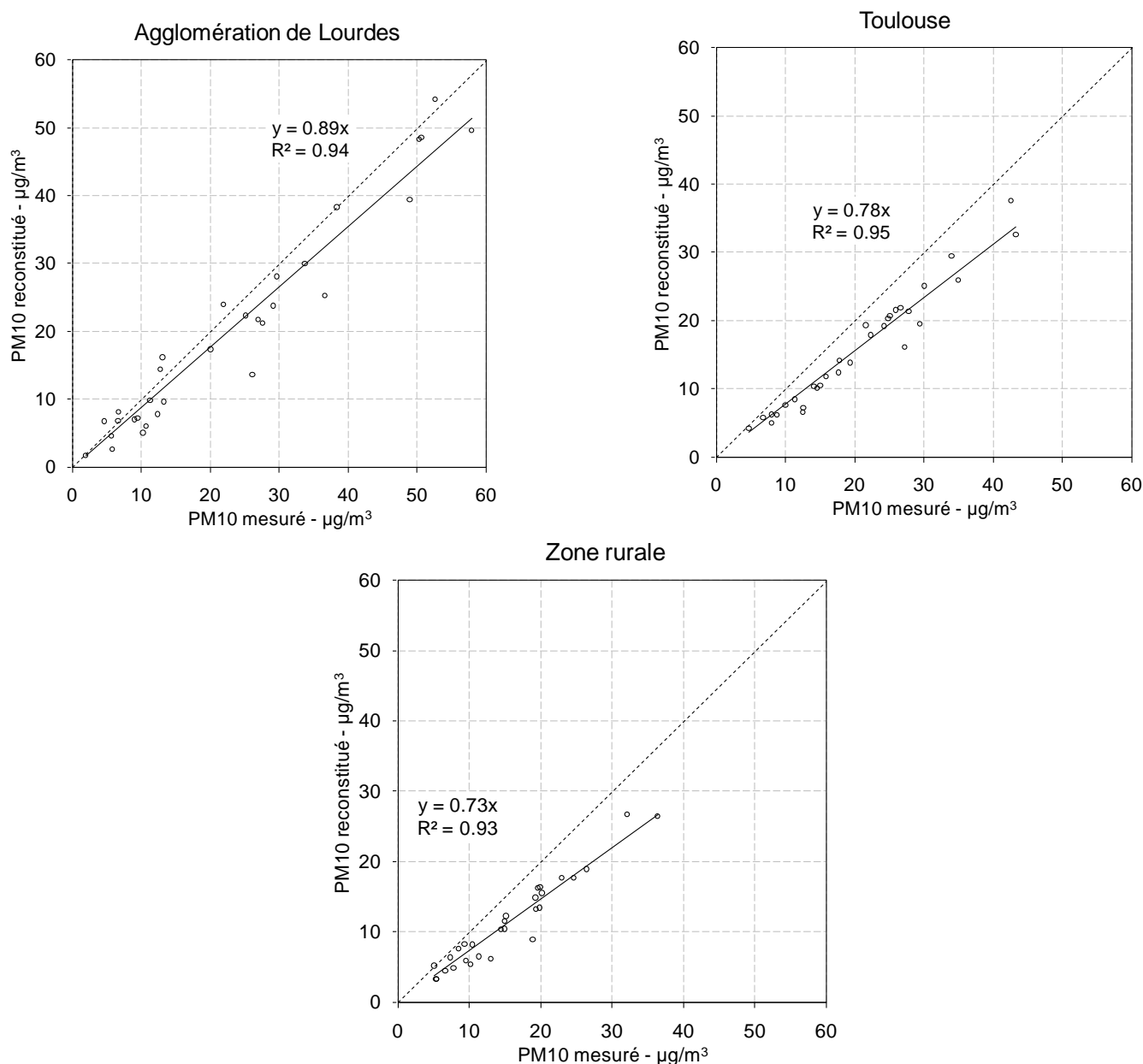
La comparaison concentration reconstruite à partir des analyses chimiques et concentration mesurée à l'aide du TEOM-FDMS (avec la fraction volatile) amène des informations complémentaires :

La comparaison entre les deux jeux de données montre que la concentration reconstruite à partir des analyses chimiques est cohérente avec la concentration en PM10 mesurée par FDMS. On note néanmoins une sous-estimation significative pour les PM recalculées. Cette fraction, sans doute volatilisée sur les filtres de prélèvement, correspond probablement à des composés secondaires hydrophiles (dont nitrate et sulfate d'ammonium).

La fraction volatile est ainsi, en moyenne, de 3,3 µg/m³ pour Lourdes, de 4,8 µg/m³ en moyenne sur la commune de Toulouse et de 4,4 µg/m³ en moyenne sur la zone rurale.

On note également que, pour les trois sites de mesures, la droite de régression tend à s'écarter de la bissectrice y=x lorsque les concentrations en particules augmentent.

La fraction volatile est ainsi plus importante pour les concentrations élevées en particules PM10 et donc lors des épisodes de pollution. Ce constat est visible pour les trois sites dans des proportions différentes. La part des composés semi-volatils en grande partie importée (particules produites hors du territoire étudié) est de l'ordre de 22 à 27% des particules pour le site toulousain et la zone rurale. Cette part chute à 11% pour l'agglomération de Lourdes. Les particules mesurées sur ce site apparaissent essentiellement produites localement.



Graph 23 : Fermeture chimique des particules PM10 sur le territoire de LOURDES, TOULOUSE et en ZONE RURALE. Comparaison entre les mesures par FDMS et la masse reconstruite en sommant les principaux constituants.

Évaluation des parts respectives des constituants principaux des PM à l'aide d'un bilan de masse

Le dispositif mis en place dans le cadre de l'étude (prélèvements sur filtres en parallèle avec des mesures en continu à l'aide d'appareils de type TEOM-FDMS) permet de réaliser un bilan de masse. **Le bilan de masse apporte des éléments de compréhension sur les sources de ces particules. Il permet d'évaluer les parts respectives des constituants principaux des PM :**

- La matière organique (OM),
- Le carbone élémentaire (EC),
- Les espèces inorganiques secondaires (Sulfates, Ammonium, Nitrates),
- Les poussières minérales,
- Les sels marins.

La somme des espèces citées ci-dessus, comparée à la masse totale de PM permet de reconstruire la composition chimique des PM.

Cet exercice fait systématiquement apparaître une masse notée "non déterminé" ou "nd".

Cette quantité représente la différence entre la masse totale de PM mesurée par TEOM-FDMS et la somme des masses des différentes composantes chimiques prises en compte ou reconstituées. Cette masse a essentiellement trois origines :

La masse d'eau : bien que mesurée dans des conditions d'humidité relative connues et relativement faibles, une masse d'eau résiduelle est présente dans les PM. Cette quantité, difficile à mesurer, est probablement généralement de l'ordre de 10% et peut atteindre 30% à 50% d'humidité relative.

Les espèces non mesurées ou estimées : la masse de chacune des espèces n'est pas toujours mesurée. Elle peut être mesurée partiellement ou estimée, comme par exemple la masse de matière organique (utilisation d'un facteur multiplicatif de la masse de OC, la masse d'éléments d'origine crustale ou encore la fraction remise en suspension par la circulation).

Les incertitudes de mesure : Les incertitudes de mesure sont encore très peu connues. Cette lacune est en partie liée au fait que certaines composantes ne peuvent être qu'estimées, et que les méthodes de mesure utilisées sont encore très disparates.

En moyenne sur la période hivernale, les compositions chimiques des particules mesurées sur les trois sites sont représentées sur le graphique ci-après.

Le site implanté en zone rurale est représentatif des niveaux de particules de fond de la région. Ce site est peu influencé par la pollution de proximité. Cette échelle dite régionale intègre les pollutions rurales avoisinantes

mais plus largement les transports de pollution à moyenne et longue distance.

Pendant l'hiver 2015 - 2016, le fond de la région a été constitué en moyenne de 41% de matière carbonée (matière organique + carbone élémentaire) soit en moyenne 4.3 µg/m³.

Les espèces ioniques majeures (sulfates, nitrates et ammonium) représentent la seconde fraction des particules PM avec 23% de la masse pour la zone rurale soit 2.5 µg/m³. Les concentrations en sels de mer et poussières crustales sont faibles.

La part de particules non déterminée est 2.6 µg/m³ sur ce site. Elle est du même ordre de grandeur que celle obtenue pour l'agglomération de Lourdes (2,4 µg/m³). Sur la commune de Toulouse, cette part de particules non déterminée est près de 2 fois plus importante. **Cette fraction non déterminée peut en partie être attribuée à la fraction volatile qui n'a pas été totalement analysée sur les filtres.**

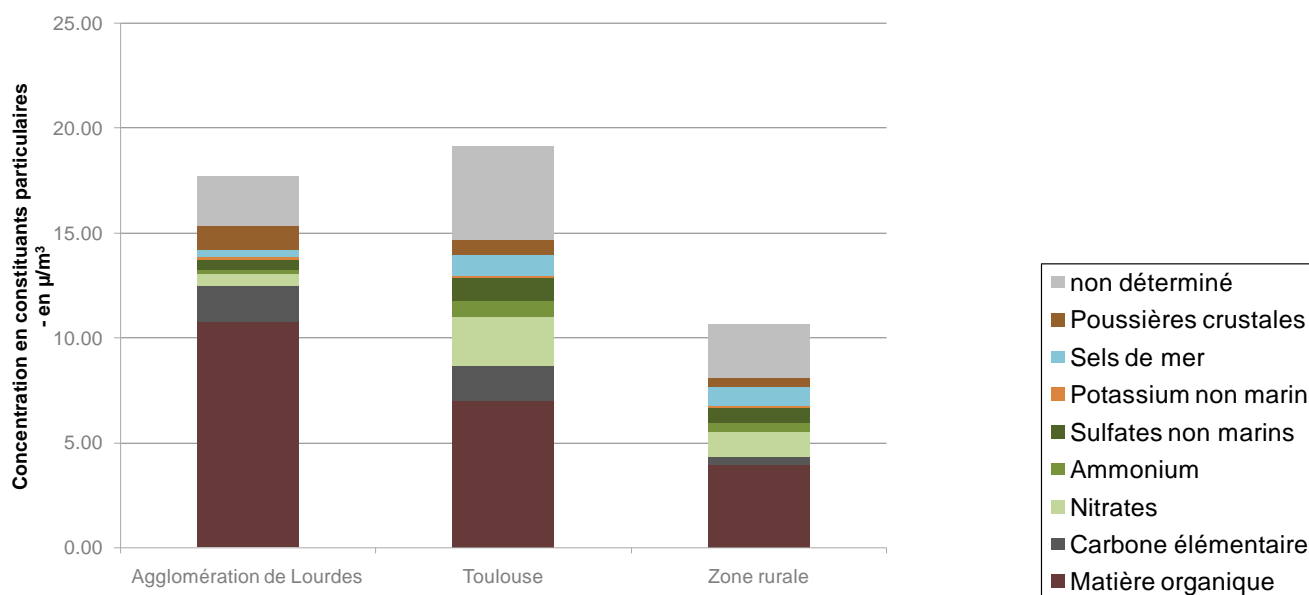
Sur l'agglomération de Lourdes, la matière carbonée (matière organique + carbone élémentaire) constitue la fraction majeure des particules PM₁₀, avec 70% de la masse.

En représentant 45% de la masse, la matière carbonée est nettement plus faible sur Toulouse mais elle reste tout de même la première fraction en masse des particules.

Les espèces ioniques majeures (sulfates, nitrates et ammonium) représentent la seconde fraction des particules PM₁₀ avec 22% de la masse pour la commune de Toulouse et 8% de la masse pour l'agglomération de Lourdes. Sur Toulouse, ce fort taux d'espèces ioniques majeures se fait au détriment de la matière organique, le carbone élémentaire représentant 9% de la masse sur Toulouse comme à Lourdes.

Dans cette fraction d'espèces ioniques, les nitrates sont les composés les plus importants contribuant à 12% de la masse des particules sur la commune de Toulouse. Ils sont principalement formés dans l'atmosphère à partir de l'oxydation des oxydes d'azote, polluants émis lors des phénomènes de combustion.

Pour Lourdes, les concentrations obtenues pour les différentes espèces ioniques sont faibles, inférieures à celles mesurées en zone rurale considéré dans cette étude comme le fond rural de la région.

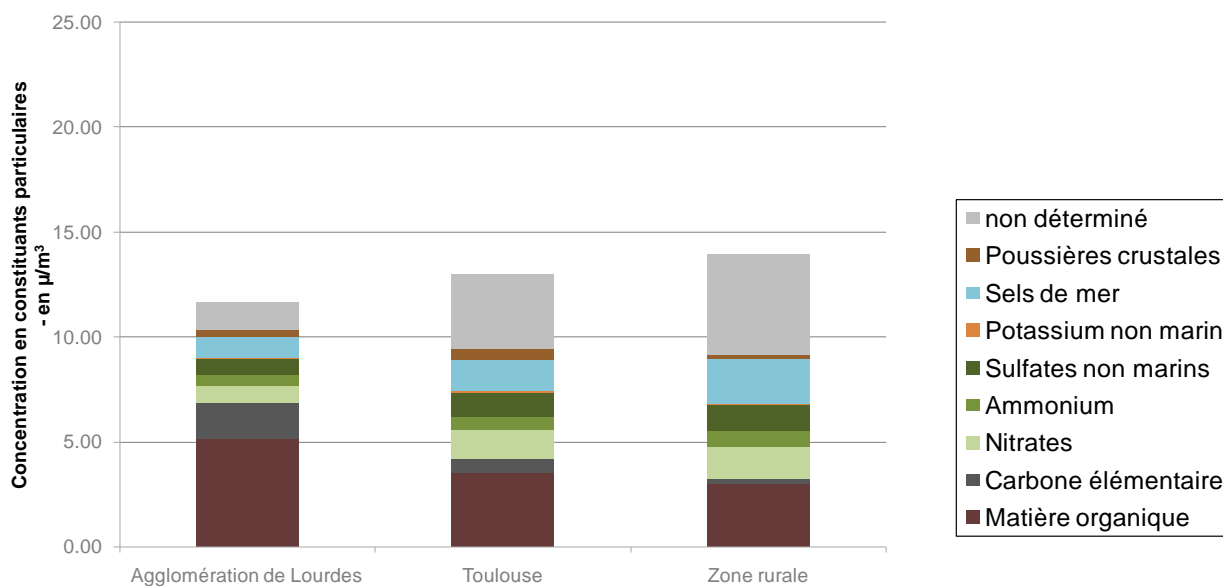


Grphe 24 : compositions chimiques des particules sur les trois sites de mesures pour la *période hivernale*

Les derniers prélèvements réalisés en mars et début avril sont marqués par une évolution de la composition chimique des particules.

Sur les trois sites étudiés, la part de la matière carbonée (matière organique + carbone élémentaire) amorce une diminution. Cette baisse se fait au profit :

- Des espèces ioniques majeures sur Lourdes,
- Des espèces ioniques majeures et des particules non déterminées sans doute des particules semi-volatiles sur la commune de Toulouse,
- Des particules non déterminées (fraction volatile) sur la zone rurale.



Grphe 25 : compositions chimiques des particules sur les trois sites de mesures pour la *période printanière*

ANNEXE VI : ESTIMATION DE LA PART LOCALE MOYENNE DES DIFFERENTS CONSTITUANTS PARTICULAIRES

Pour les constituants rencontrés majoritairement dans les particules, (matière organique, carbone élémentaire et espèces ioniques), nous avons déterminé la part moyenne du fond urbain en enlevant la part moyenne du fond régional aux concentrations mesurées sur la commune de Toulouse et le territoire de Lourdes.

Sur les deux sites, agglomération de Lourdes et la commune de Toulouse, la part moyenne locale estimée des principaux constituants des particules (matière organique, carbone élémentaire et espèces ioniques majoritaires) pour la période hivernale est indiquée dans le tableau ci-dessous :

	Part locale (en %)	
	Agglomération de Lourdes	Toulouse
	Période hivernale	Période hivernale
Matière organique	63%	44%
Carbone élémentaire	78%	78%
Nitrates	0%	48%
Ammonium	0%	51%
Sulfates	0%	27%

Sur l'agglomération de Lourdes, la part locale apparaît majoritaire pour la matière organique et le carbone élémentaire. En ce qui concerne les espèces ioniques, les niveaux mesurés sur ce territoire sont inférieurs à ceux mesurés en zone rurale, ces espèces sont donc importés et non produits localement. **Le territoire de Lourdes, sans doute du fait de sa configuration géographique apparaît isolé, peu influencé par l'import de particules et notamment d'espèces ioniques.**

Pour la commune de Toulouse, les sulfates et la matière organique apparaissent majoritairement importées tandis que la part locale du carbone élémentaire est largement prépondérante. Les nitrates et l'ammonium sont, à parts égales, importés et produits localement.

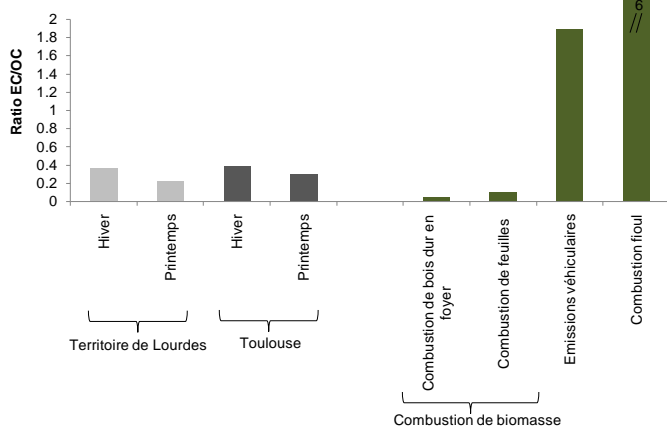
ANNEXE VII : ETUDE DES RATIOS

Carbone élémentaire/carbone organique

Le ratio entre le carbone élémentaire et le carbone organique (EC/OC) contenu dans les PM est considéré comme traceur car il diffère selon les sources d'émission. Ainsi, la combustion de bois émet une grande proportion de carbone organique tandis que les émissions véhiculaires émettent majoritairement du carbone élémentaire.

Le ratio EC/OC est de 0,04 pour les émissions de combustion du bois (Fine et al., 2004), 1,89 pour les émissions véhiculaires (El Haddad et al., 2009) et de 6 pour la combustion au fioul (Rogge et al, 1997).

Les rapports EC/OC obtenus sur le territoire de Lourdes sont faibles. Ils sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés sur le site de Toulouse.



Graph 26 : rapports EC/OC obtenus sur le territoire de Lourdes et Toulouse et comparaison avec des ratios obtenus à l'émission

Contrairement au bilan de masse, le ratio EC/OC obtenu pour le territoire de Lourdes ne met pas en évidence une forte influence de la combustion de biomasse.

Le bilan de masse et le ratio EC/OC obtenus sur l'agglomération toulousaine sont typiques d'une zone urbaine influencée par de nombreuses sources de particules.

Comportement des traceurs spécifiques de la combustion de biomasse

La combustion de biomasse conduit à l'émission de composés traceurs, provenant de la décomposition thermique de la cellulose. Notamment, le Lévo-glucosan et ses deux isomères (Galactosan et Mannosan) constituent des traceurs non ambigus de la combustion de biomasse. Cependant, si ces composés sont émis par tous les types de combustion de biomasse, leur contribution à la concentration du carbone organique ainsi que les rapports entre ces isomères peuvent se différencier.

Ainsi, le rapport OC/lévo est communément utilisé dans une première approche quantitative de la part du carbone organique provenant de la combustion de biomasse. Les données de la littérature montrent une variabilité assez grande. Il est ainsi de 7,35 pour la combustion de bois dur en foyer fermé de type poêle et de 27,5 pour la combustion de feuilles. Ces valeurs sont dépendantes de la nature du bois brûlé. Cependant, ce rapport OC/lévo permet d'avoir une première approche sur la contribution de la biomasse.

Sur le territoire de Lourdes, les ratios obtenus sont compris entre 3,3 et 8,9. Ils sont proches de la valeur caractérisant la combustion de bois en foyer fermé. Ces ratios indiquent une contribution importante de la combustion de biomasse à l'aérosol organique sur l'ensemble de la période de mesures.

Sur la commune de Toulouse, pendant la même période, les ratios obtenus sont compris entre 4,6 et 21,2. Ils sont ainsi marqués par une forte hétérogénéité et mettent en évidence une contribution moindre de la combustion de biomasse au carbone organique.

En outre, le ratio concentration en Lévo-glucosan sur concentration en Mannosan (Lévo/Man) a été utilisé dans la littérature pour caractériser les essences de bois brûlés (Schmidl et al., 2008 b).

En effet, le ratio lévo/Man est différent selon le type de bois brûlé. La combustion de bois dur (hêtre, chêne...) donne des ratios élevés aux alentours de 14-15 tandis que la combustion de bois tendres (sapin, épicéa, mélèze...) donne des ratios faibles de l'ordre de 3.6 à 3.9. **Le ratio lévo/manno obtenu pour le territoire de Lourdes pour la période hivernale (12.3) est du même ordre de grandeur que celui rencontré sur l'agglomération toulousaine (11.0).** Il indique une utilisation prédominante des bois durs sur les deux zones étudiées. Ces résultats sont cohérents avec la composition du massif forestier de la zone : 70% de la surface du territoire du pays de Lourdes et des Vallées de Gaves est occupé par une forêt de feuillus mélangés.

ANNEXE VIII : ESTIMATION DES CONTRIBUTIONS DES SOURCES AUX PARTICULES

L'approche monotracteur permet d'estimer :

- Les contributions de la combustion de biomasse et des émissions véhiculaires directes à la matière organique et au carbone élémentaire,
- Les contributions des sels marins et des poussières crustales aux particules.

A partir de ces contributions estimées et de la part des composés ioniques majeurs qui en première approximation peuvent représenter la fraction secondaire, une estimation des contributions des sources aux particules peut être réalisé.

Cette approche reste simplifiée. On retiendra ainsi qu'une partie des espèces ioniques (pas forcément négligeable) peut provenir des émissions directes des deux sources "combustion de biomasse" et "émissions véhiculaires directes" et que la fraction "non déterminée" contient, entre autres, des espèces ioniques mesurées mais non représentées ainsi que les espèces métalliques non crustales non analysées dans le cadre de cette étude.

Estimation de la contribution des sources à la matière organique

Méthodologie

La matière organique contenue dans les PM peut être émise par des sources primaires ou secondaires naturelles ou anthropiques. Parmi ces sources, la combustion de biomasse et les émissions véhiculaires directes, qui sont des sources primaires anthropiques de matière organique, représentent des sources majeures de la matière organique en atmosphère urbain et rural.

La quantification des sources primaires majeures de matière organique a été réalisée à l'aide d'une approche monotracteur basée sur un bilan de masse du carbone organique contenu dans les particules calculé à partir de la spéciation chimique des particules en air ambiant.

Les approches mono-traceur utilisent des concentrations chimiques de composés indicateurs ou traceurs de sources et des équations empiriques reposant sur des ratios de concentrations mesurées dans les émissions des sources en faisant l'hypothèse que ces ratios n'évoluent pas dans l'atmosphère après émission. Ces approches sont fortement dépendantes des ratios utilisés, généralement issus de la littérature, eux-mêmes fortement influencés par les conditions de réalisation des profils de sources, pouvant entraîner une surestimation ou une sous estimation des contributions des sources considérées. La surestimation a ainsi été régulièrement observée dans le cas de niveaux élevés de particules caractérisées par une fraction organique importante.

La contribution de la combustion de biomasse à la matière organique est estimée à partir de la relation suivante :

$$\text{Contrib. biomasse} = \frac{[\text{Lévo-glucosan}] \times 7,35 \times 1,7}{[\text{OM}]}$$

Avec

[Lévo-glucosan] : concentration atmosphérique en lévo-glucosan (en ng/m³)

[OM] : concentration atmosphérique en matière organique (en ng/m³)

Le facteur 7,35 est ratio OC/lévo mesuré à l'émission pour la combustion de bois durs par Fine et al. (2004). Ce facteur est couramment utilisé pour les études européennes.

Le facteur 1,7 correspond au facteur correctif entre l'OC mesuré et la matière organique (OM) pour la combustion de biomasse (Turpin and Lim, 2001).

L'évaluation de la contribution des émissions véhiculaires directes à la matière organique est également réalisée à l'aide d'une approche monotracteur basée sur l'hypothèse que le carbone élémentaire mesuré en air ambiant provient très majoritairement de la combustion du bois et des émissions véhiculaires.

Ainsi, à partir des concentrations en carbone élémentaire et en lévoglucosan, la contribution des émissions véhiculaires à la matière organique est estimée par cette formule :

$$\text{Contrib. véhiculaire} = \frac{\left(\frac{[\text{EC}] - [\text{EC}]_{\text{combustion bois}}}{1,65} \right) \times 1,2}{[\text{OM}]}$$

Avec

[EC] : concentration atmosphérique en carbone élémentaire (en ng/m³)

[Lévo-glucosan] : concentration atmosphérique en lévoglucosan (en ng/m³)

[OM] : concentration atmosphérique en matière organique (en ng/m³)

$$[\text{EC}]_{\text{combustion bois}} = [\text{Lévo-glucosan}] / 2,72$$

Le facteur 1,65 est le ratio entre l'EC et l'OC pour des mesures à la source des émissions véhiculaires directes (El Haddad et al, 2009), le facteur 2,72 est issu de mesures de carbone élémentaire et de lévoglucosan à l'émission pour la combustion de bois durs en foyer (Fine et Al, 2004) et le facteur 1,2 est le ratio OM/OC pour les émissions véhiculaires directes (Aiken et al, 2008).

La part des autres sources éventuelles de matière organique est calculée en soustrayant les parts de la combustion de biomasse et des émissions véhiculaires à la concentration en matière organique mesurée dans l'échantillon considéré, et cette fraction est appelée «autre matière organique». Dans certains échantillons, la contribution de la combustion de biomasse à la matière organique calculée est supérieure à 1.

Ainsi, sur le territoire de Lourdes, la contribution de la combustion de biomasse à la matière organique calculée est supérieure à 1 sur 68 % des échantillons recueillis pendant la campagne de mesures tandis qu'elle est supérieure à 1 sur 39 % des échantillons sur Toulouse et 6% en zone rurale.

Sur le territoire de Lourdes, cette surestimation traduit une forte influence de la combustion de biomasse. Les facteurs de calcul utilisés se révèlent inadaptés.

Dans ce cas, l'hypothèse de la présence uniquement de deux sources majoritaires (combustion de biomasse et émissions véhiculaires) pour le carbone organique a donc été faite. La contribution des émissions véhiculaires à l'OM est donc calculée en premier et la

contribution de la combustion de biomasse représente la fraction d'OM restante.

L'approche monotracteur est une méthode qualitative facile et rapide à utiliser (Jaffrezo et Al, 2012) mais elle possède des limites d'utilisation. En effet, elle est fortement dépendante du choix des ratios utilisés, eux-mêmes fortement influencés par les conditions de réalisation des profils de sources, pouvant entraîner au final une surestimation des contributions des deux sources considérées. La surestimation constitue donc une des limites de cette méthode.

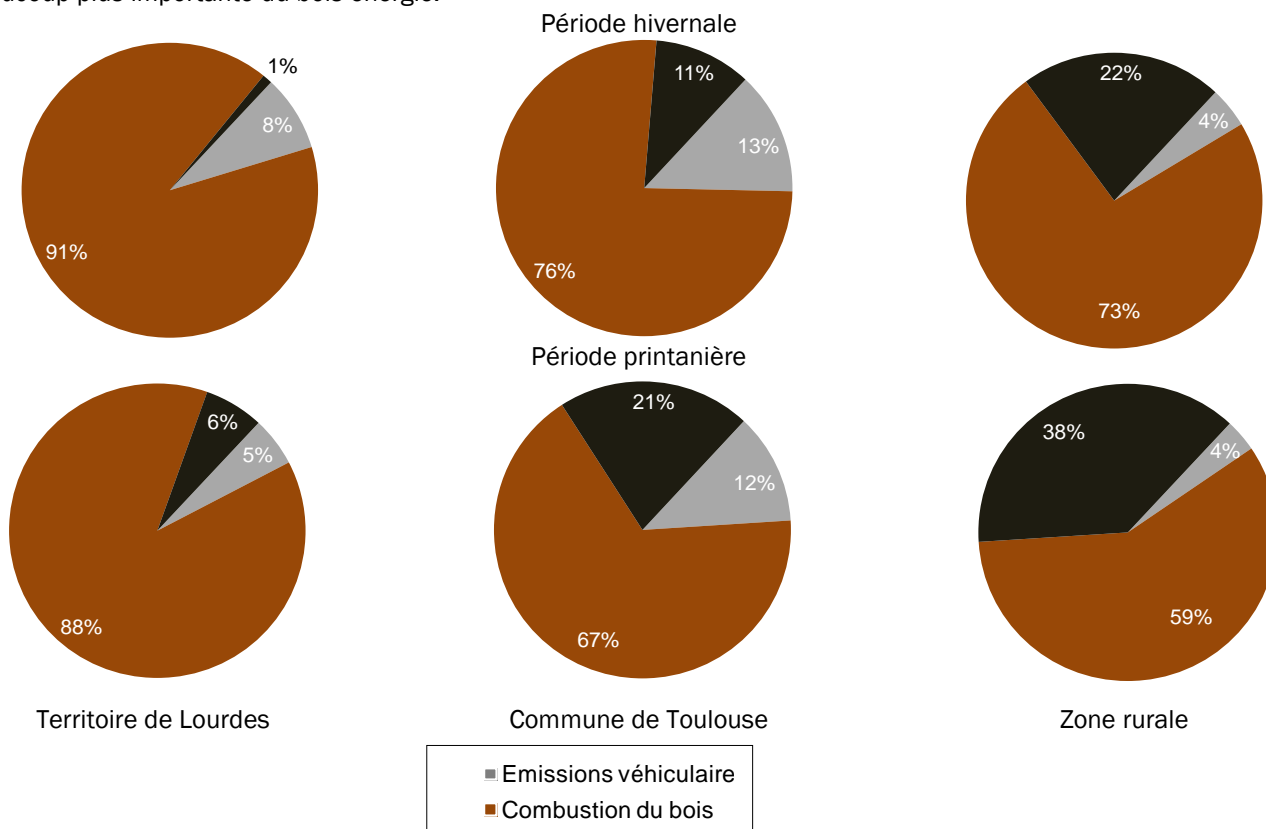
Résultats

Sur les trois sites, pour la période hivernale moyenne, la source combustion de biomasse est 7 à 21 fois plus importante que la source véhiculaire pour les apports de matière organique, cette source véhiculaire directe étant de l'ordre de 4% de la contribution en zone rurale et de 8% sur le territoire de Lourdes. En zone urbaine, elle est plus importante et atteint 13% de la contribution.

La contribution de la combustion de biomasse à la matière organique contenue dans les particules PM10 est largement prépondérante sur le territoire de Lourdes en période hivernale. Elle est nettement plus élevée que celle mesurée sur la commune de Toulouse et la zone rurale très probablement en raison de l'utilisation beaucoup plus importante du bois énergie.

Au début du printemps, la contribution de la combustion de biomasse à la matière organique tend à diminuer plus ou moins fortement sur tous les sites. Sur le territoire de Lourdes, cette contribution reste cependant largement prépondérante. Sur la commune de Toulouse et la zone rurale, du fait de la baisse plus forte de la source due à la combustion de biomasse, l'influence des "autres sources" devient plus visible.

Ces autres sources d'émissions non identifiées par l'approche monotracteur peuvent être des processus secondaires de formation de particules liées aux interactions gaz-particules en milieu urbain associées aux émissions industrielles.



Graph 27 : Contribution des sources à la matière organique (en %)

Estimation des contributions des sources aux particules

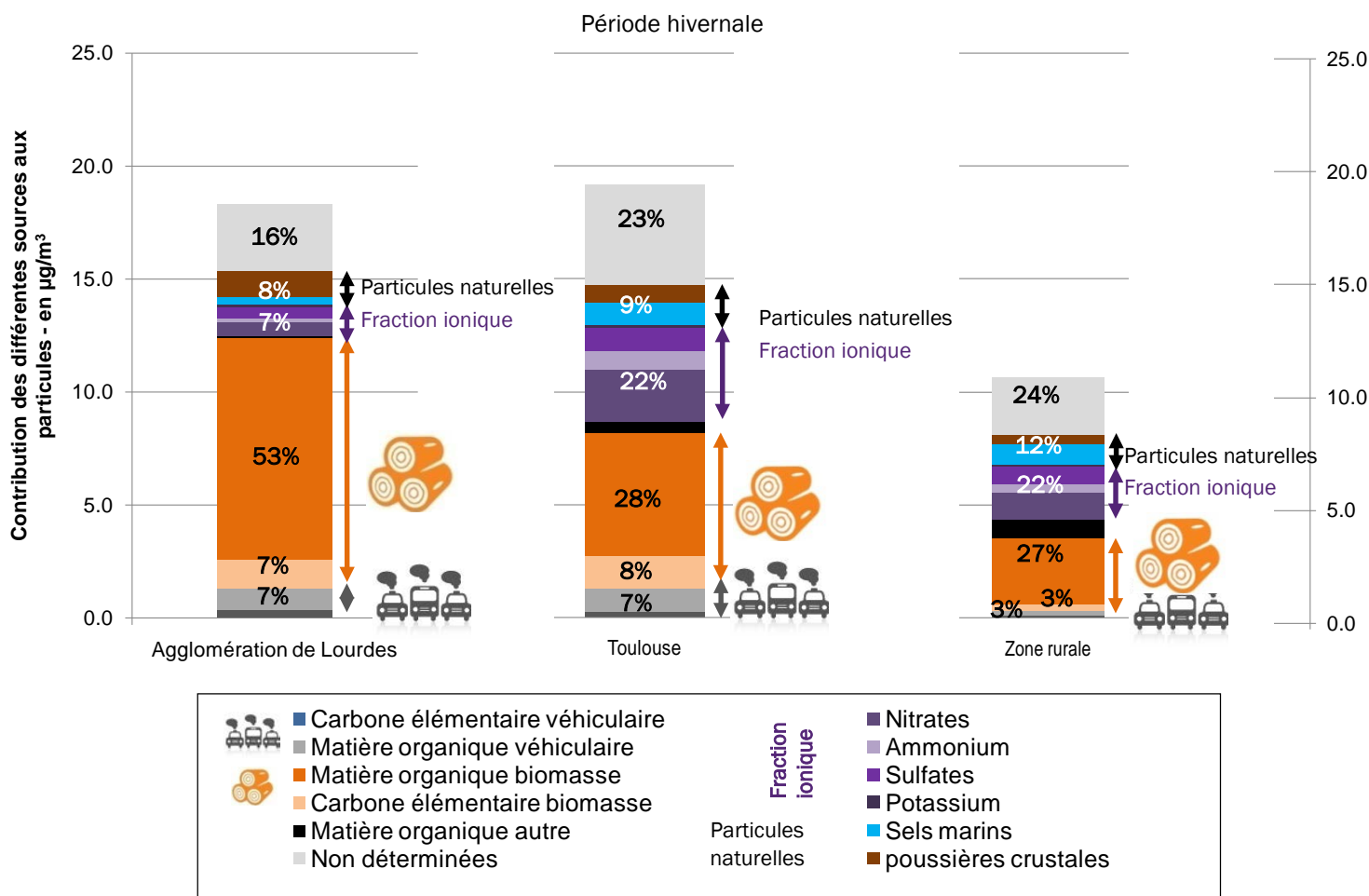
Pour la période hivernale, le territoire de Lourdes est marqué par une contribution de la combustion de biomasse aux particules nettement majoritaire (60%). Pour les deux autres sites, cette contribution reste la première source de particules, mais elle est nettement plus faible : elle représente ainsi 30% de la masse des particules pour la zone rurale et 36% de la masse des particules pour le site de Toulouse. La fraction ionique est la seconde fraction de particules pour Toulouse et le site rural. Elle est, pour ces deux sites, nettement dominée par les ions nitrate.

Sur le territoire de Lourdes, la fraction ionique est nettement plus faible et contribue à 8% de la masse des particules, elle est ainsi du même ordre de grandeur que la part des émissions véhiculaires (7%) ou des particules naturelles (8%). Cette faible proportion témoigne du relatif isolement de la vallée vis-à-vis des apports extérieurs.

Contrairement aux deux autres sites, la proportion d'ions nitrate ne prédomine pas. Elle est similaire à la proportion d'ions sulfate.

Pour la zone rurale, on note une fraction "matière organique autre" plus importante (8%), très probablement assimilable en grande partie à de la matière carbonée issue de production secondaire, nettement plus forte que sur les sites urbains. Cela met en évidence, pour ce site, des processus de formation à grande échelle.

Les contributions des poussières crustales et marines sont faibles de l'ordre d'une dizaine de pourcents pour les 3 sites étudiés avec une répartition différente des sels marins et des poussières crustales sur le territoire de Lourdes en comparaison des deux autres sites. Ainsi, Lourdes apparaît moins influencée par les sels marins que la commune de Toulouse et la zone rurale. En revanche, Lourdes est plus exposée aux poussières crustales.



Graph 28 : Estimation des contributions des sources aux particules par approche monotracer - PÉRIODE HIVERNALE

Pour le début de la période printanière, l'approche monotracteur et la caractérisation globale des particules faite dans cette étude permettent l'identification de 2/3 à 3/4 des particules pour la zone rurale et le territoire de Lourdes.

L'écart entre les mesures chimiques et la masse des particules est sans doute en partie dû à la prise en compte de la fraction volatile dans la masse des particules et sous estimée lors des analyses sur filtres.

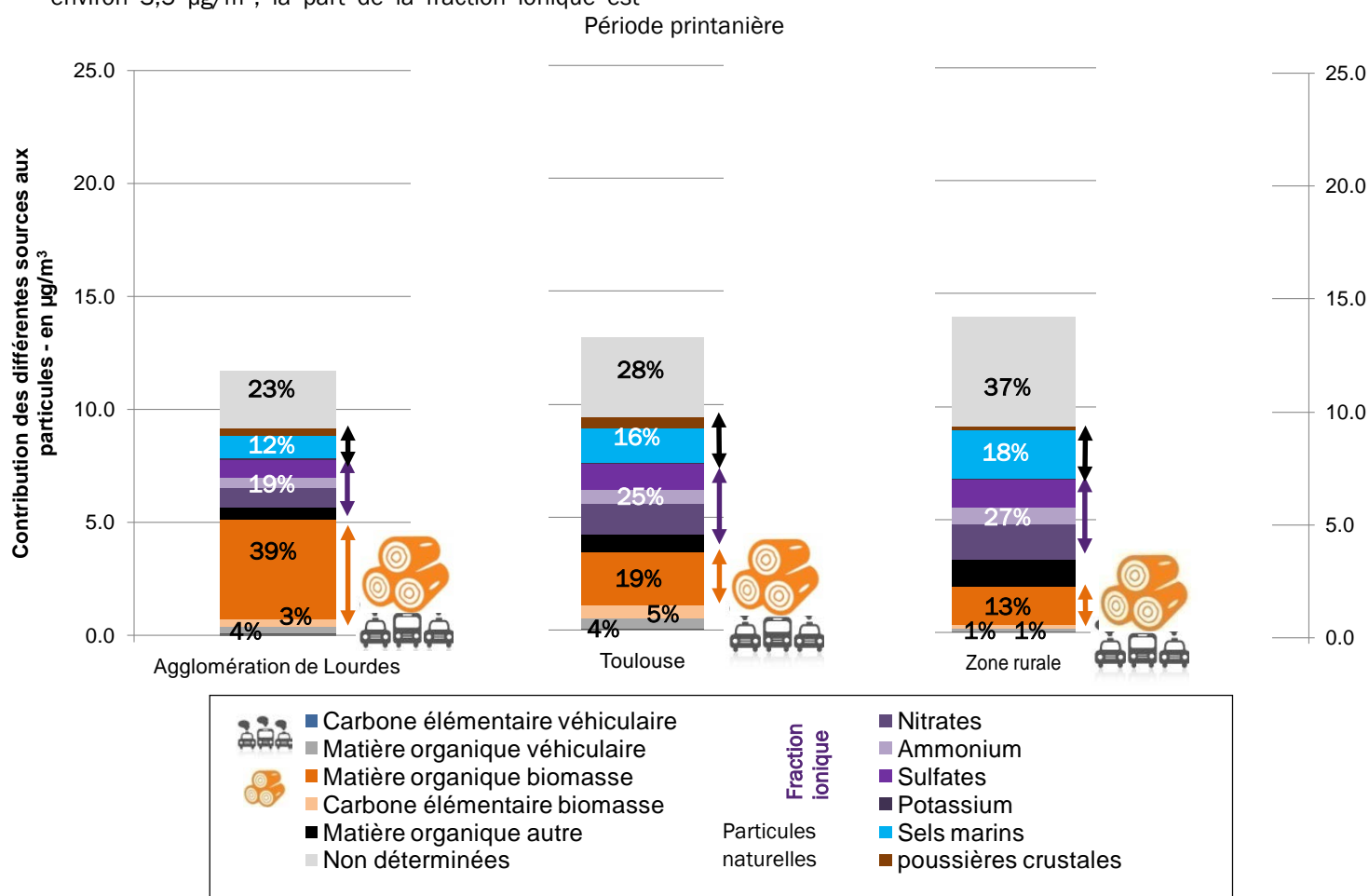
La contribution de la combustion de biomasse chute nettement sur le territoire de Lourdes (42%), elle reste cependant la première source de particules sur cette zone. Sur la zone rurale et la commune de Toulouse, elle diminue fortement également. La fraction ionique (nitrate, ammonium, sulfate et potassium) devient, pour ces sites, la première source de particules.

En représentant 1/4 de la masse des particules soit environ 3,5 µg/m³, la part de la fraction ionique est

similaire sur ces deux sites. La fraction ionique rencontrée sur la commune de Toulouse apparait ici importée.

La contribution de la "matière organique autre" non identifiée augmente sur les trois sites. Pour Lourdes et Toulouse, cette matière organique peut être due aux émissions naturelles des végétaux primaires et secondaires qui sont plus importantes au printemps en comparaison de l'hiver. Sur la zone rurale, elle augmente légèrement également. Comme lors de la période hivernale, cette matière carbonée est sans doute due à la production secondaire liée à des processus à grande échelle.

Les émissions véhiculaires directes (matière organique véhiculaire + carbone élémentaire véhiculaire) diminuent. La part des poussières marines augmente sur les trois sites.

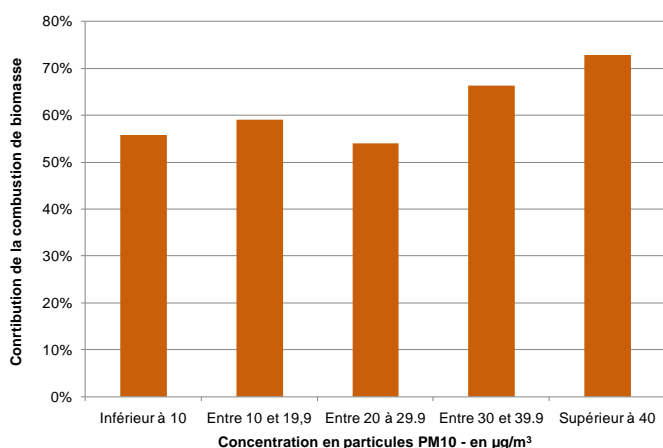


Graph 29 : Estimation des contributions des sources aux particules par approche monotracteur - Début du PRINTEMPS

Pendant la période hivernale, la combustion de biomasse est la source prédominante de particules sur le territoire de Lourdes. Selon les jours, 1/4 à plus de 3/4 des particules mesurées dans l'air de Lourdes sont issues de la combustion de la biomasse.

En moyenne, quelque soit le niveau de particules mesuré sur le territoire de Lourdes, les particules issues de la biomasse sont majoritaires. Pour des niveaux inférieurs à 30 µg/m³ de particules dans l'atmosphère, la part moyenne des particules issues de la biomasse est stable : un peu plus de la moitié des particules mesurées est alors issue de la biomasse.

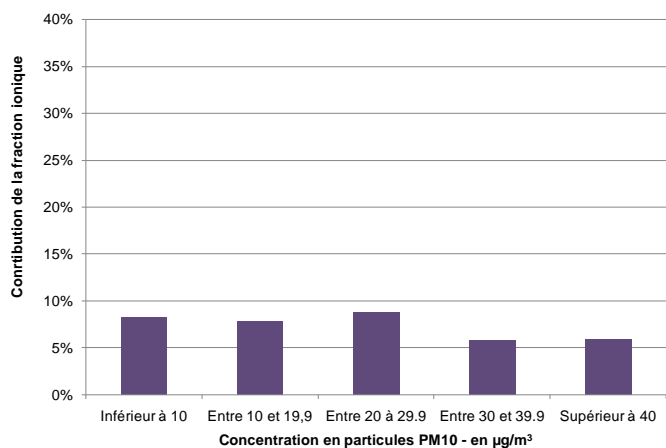
Au delà, la part de la combustion de biomasse augmente avec la hausse des niveaux de particules dans l'air. Ainsi, pour des concentrations supérieures à 40 µg/m³, les 3/4 des particules sont issues de la biomasse.



Graphe 30 : Estimation de la part de la contribution de la biomasse en fonction de la concentration en particules sur le territoire de Lourdes

La part de la fraction ionique, seconde source de particules anthropiques sur le territoire de Lourdes représente moins de 1/5 des particules mesurées dans l'air.

Quel que soit le niveau de particules dans l'atmosphère, la part moyenne de la fraction ionique est relativement stable et faible.

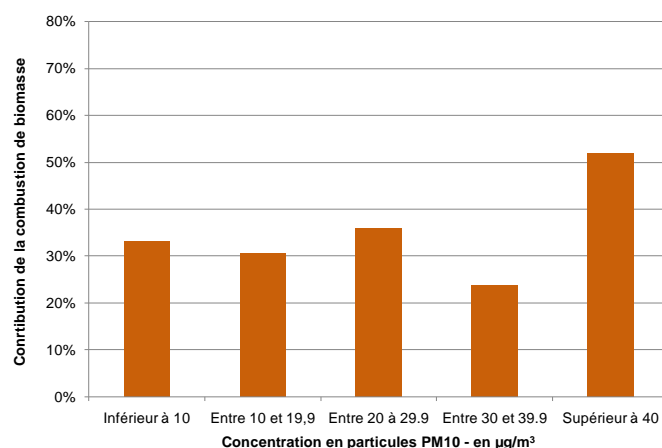


Graphe 31 : Estimation de la part de la fraction ionique en fonction de la concentration en particules sur le territoire de Lourdes

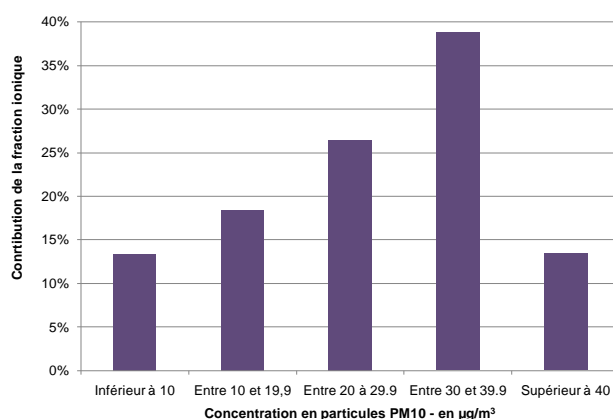
Sur la commune de Toulouse, la combustion de biomasse et la fraction ionique sont les deux sources principales de particules.

Si l'on considère les concentrations en particules dans l'air inférieures à 40 µg/m³, la part de la combustion de biomasse tend à diminuer quand les niveaux de particules augmentent, tandis qu'inversement la part des espèces ioniques augmente avec les concentrations en particules.

Au delà de 40 µg/m³ (soit 2 jours au cours de l'hiver 2015-2016), la part de la combustion de biomasse augmente tandis que la part des espèces ioniques diminue.

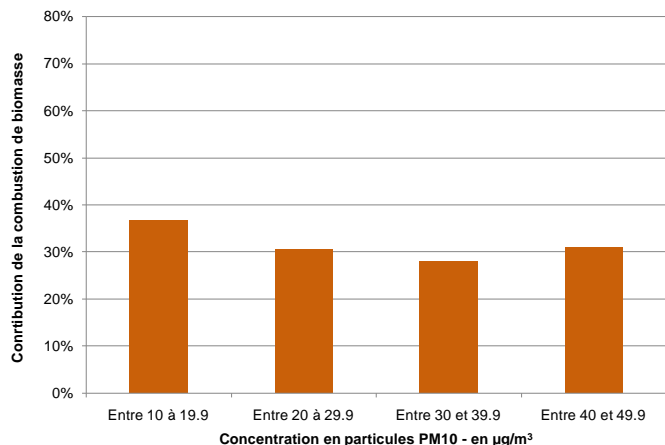


Graphe 32 : Estimation de la part de la contribution de la biomasse en fonction de la concentration en particules sur Toulouse



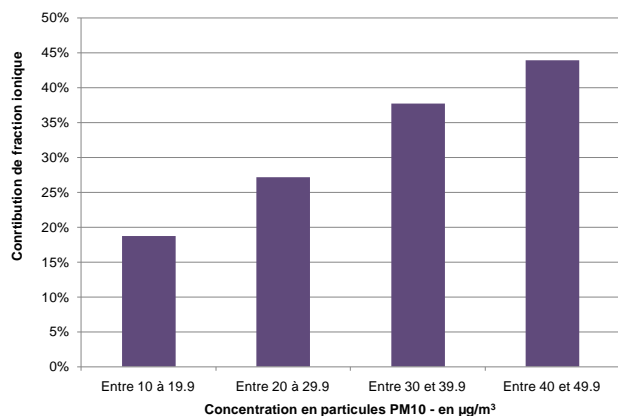
Graphe 33 : Estimation de la part de la fraction ionique en fonction de la concentration en particules sur Toulouse

Au cours de l'hiver 2013-2014, l'ORAMIP a réalisé une campagne de caractérisation des particules sur 3 sites de Midi-Pyrénées dont Toulouse¹². La hausse des concentrations en particules PM10 étaient alors accompagné d'une légère diminution de la part de la combustion de biomasse ainsi que d'une forte augmentation de la fraction ionique.



Graph 34 : Estimation de la part de la contribution de la biomasse en fonction de la concentration en particules sur Toulouse - hiver 2013 - 2014

La stabilité de l'atmosphère apparaissait alors favorable à la formation de particules secondaires à partir des polluants gazeux émis par les activités humaines.



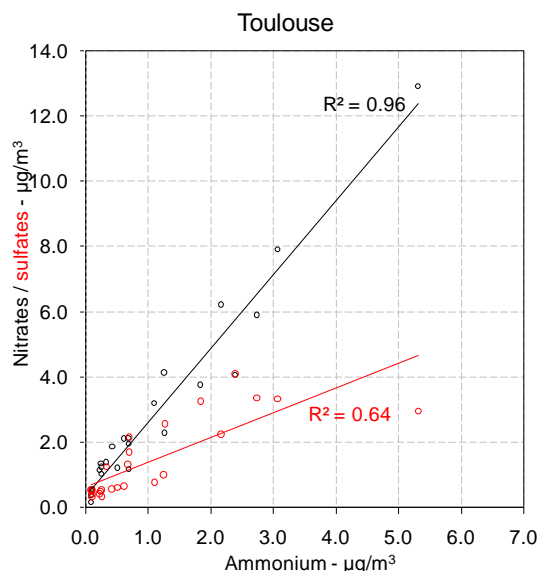
Graph 35 : Estimation de la part de la fraction ionique en fonction de la concentration en particules sur Toulouse - hiver 2013 - 2014

Il apparait donc que sur la commune de Toulouse, il y a une répartition variable des contributions biomasse et fraction ionique sur les concentrations les plus élevées en particules.

La recombinaison des polluants gazeux en particules secondaires influent de façon importante sur la qualité de l'air de Toulouse en période hivernale.

L'étude des relations de corrélation existantes entre l'ammonium et les nitrates et les sulfates

Les concentrations en ammonium présentent une très forte corrélation aux concentrations en nitrates. Elles sont également légèrement corrélées au sulfate. Sur la commune de Toulouse, la quasi-totalité des nitrates et une partie des sulfates sont donc présents sous forme de nitrate d'ammonium et de sulfate d'ammonium.



Graph 36 : Corrélation entre les concentrations en ammonium et nitrates / sulfates sur TOULOUSE.

La formation de ces particules secondaires nécessite des émissions d'ammoniac, d'oxydes d'azote et de dioxyde de soufre.

En France, en 2014, l'ammoniac est issu à près de 98% des activités agricoles, les 2/3 étant dus à élevage (Source SECTEN - CITEPA).

Comme la persistance dans l'atmosphère de l'ammoniac est longue, d'une semaine ou plus, sa présence dans l'atmosphère s'explique par des émissions régionales et du transfert de pollution à travers la France et l'Europe.

Les oxydes d'azote sont issus à 60% du trafic routier. Avec une présence dans l'atmosphère plus courte, d'un à quelques jours, ces composés proviennent principalement de sources locales.

La formation de nitrate d'ammonium serait plus sensible aux concentrations d'acide nitrique qu'à celles d'ammoniac. Pour être efficace, une réduction de l'acide nitrique implique de diminuer à la fois les émissions d'oxydes d'azote mais aussi celles d'hydrocarbures (Composés organiques volatils).

Enfin, le dioxyde de soufre est émis par la combustion de fioul lourd et du charbon.

¹² Caractérisation chimique des particules en trois sites de Midi-Pyrénées - Atmo Midi-Pyrénées - ORAMIP janvier 2016.

ANNEXE IX : ESTIMATION DES CONTRIBUTIONS DES SOURCES LORS DES EPISODES DE POLLUTION

Au cours de la période de mesures, quatre épisodes de pollution aux particules (concentration moyenne sur 24 heures supérieure à 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ont été relevés sur le territoire de Lourdes. Tous ces épisodes ont été mesurés pendant la période hivernale.

En revanche, aucun épisode de pollution n'a été observé sur l'agglomération toulousaine pendant la période de mesures. Des concentrations moyennes sur 24 heures supérieures à 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ont été mesurées pour deux journées. **Les épisodes de pollution présentés ci-dessous correspondent ainsi à toutes les journées pour lesquelles les concentrations moyennes sur 24 heures en particules ont été supérieures à 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.**

Pendant l'hiver 2015-2016, les concentrations les plus élevées en particules PM10 ont été mesurées au cours du mois de décembre sur l'agglomération toulousaine. La quasi-totalité des niveaux les plus élevés a également été observée en décembre sur le territoire de Lourdes. Un épisode de pollution a été observé fin février sur ce territoire.

Sur le territoire de Lourdes et l'agglomération toulousaine, les concentrations en particules relevées lors de ces épisodes de pollution sont jusqu'à trois fois supérieures à la moyenne hivernale.

Pour les deux sites, les proportions des contributions des différentes sources de particules lors des épisodes de pollution sont proches de celles obtenues sur la période hivernale moyenne.

Pour les deux sites de mesures, la prédominance de la contribution du chauffage au bois s'accroît lors des épisodes de pollution. La part de la circulation routière tend également à augmenter lors des épisodes de pollution.

Ainsi, sur le territoire de Lourdes, 3/5 des particules observées dans l'air en période hivernale moyenne sont issues de la biomasse. Pendant les vacances de Noël, période propice à l'utilisation importante du chauffage au

bois principal et d'agrément du fait des congés et des fêtes, ce sont 4/5 des particules de l'air qui sont issues de la biomasse.

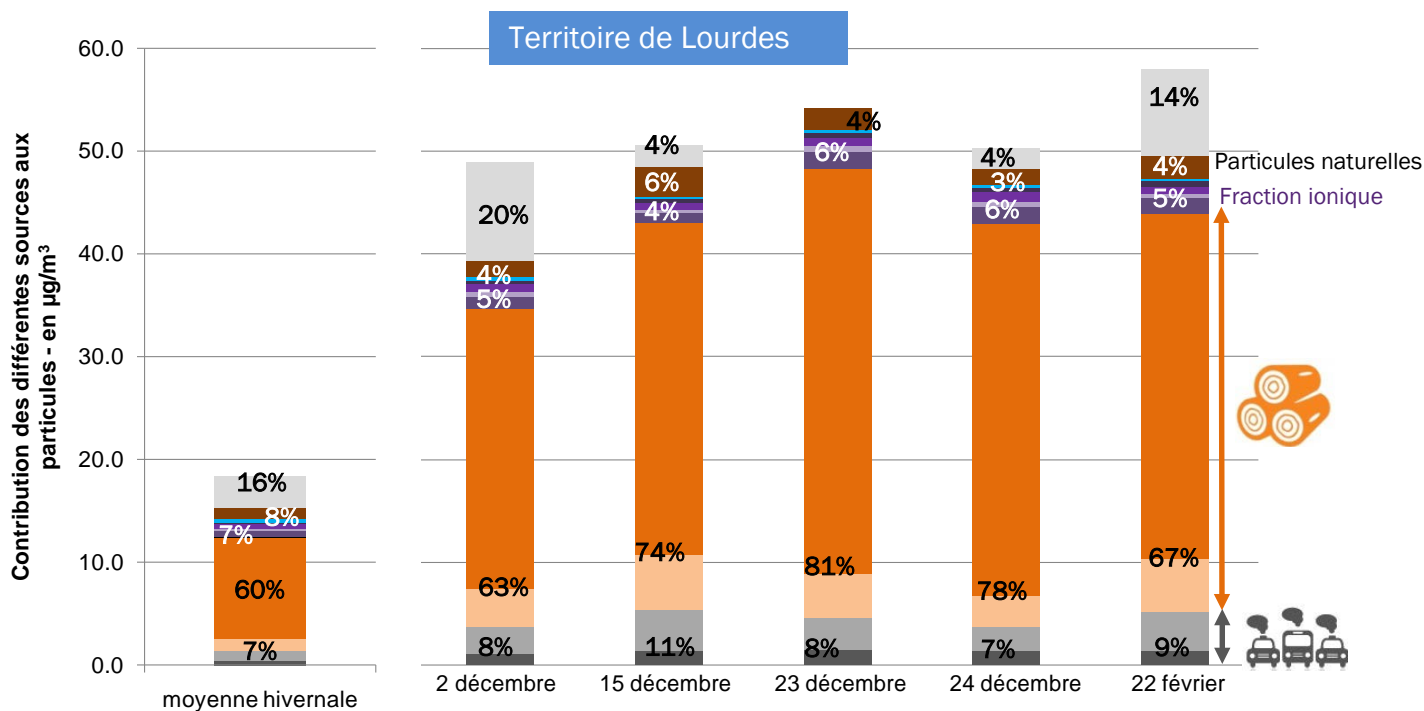
Sur Toulouse, 1/3 des particules observées dans l'air en période hivernale moyenne sont issues de la biomasse. Au cours des deux épisodes de pollution, ce sont la moitié des particules de l'air qui sont issues de la biomasse.

Pour les deux sites étudiés, cette augmentation se fait au détriment des particules importées (les particules volatiles correspondant à la part non déterminée, les espèces ioniques, mais également les particules d'origine marine).

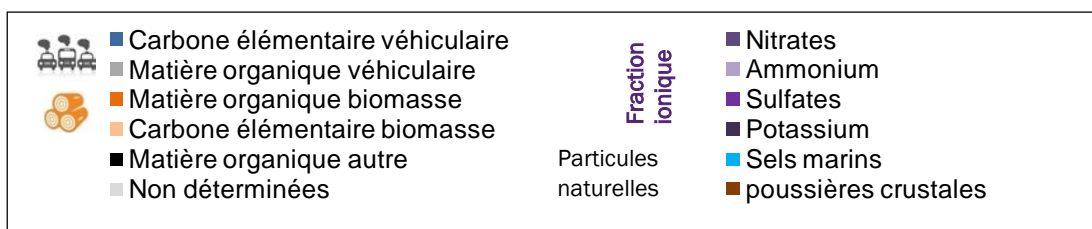
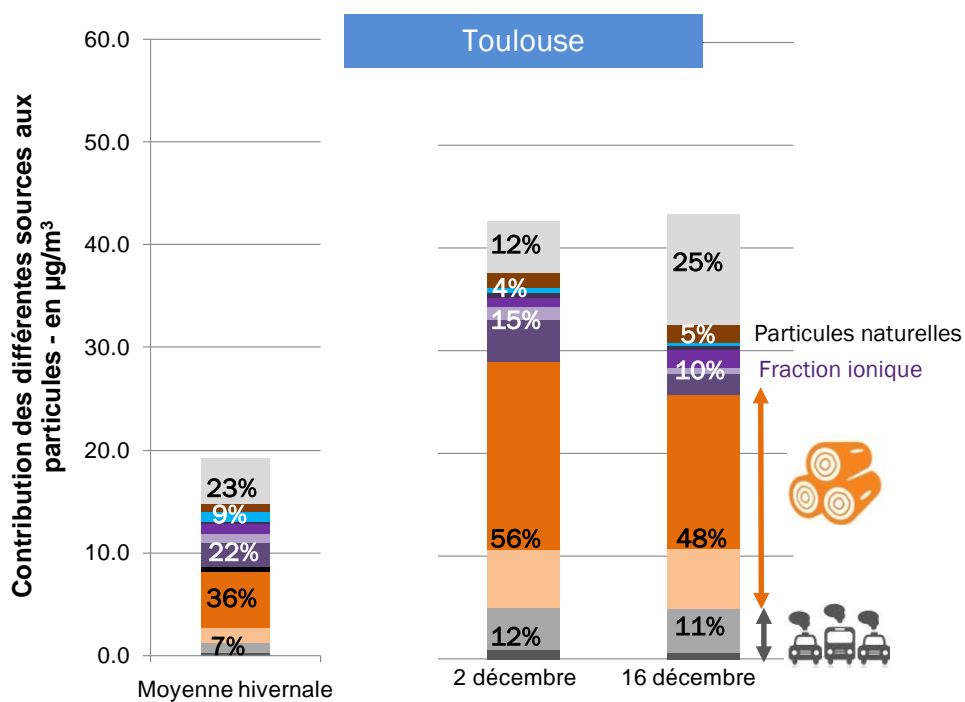
Il apparaît que la combustion locale de bois influe fortement sur la qualité de l'air du territoire de Lourdes en période hivernale quels que soient les niveaux de particules. Cette source apparaît comme le principal levier d'action pour l'amélioration de la qualité de l'air de la zone.

Des actions de sensibilisation à destination des utilisateurs de chauffage au bois, des agriculteurs pratiquant l'écobuage et de tous les citoyens susceptibles de brûler leurs déchets végétaux à l'air libre peuvent être ainsi menées. Cet effort de sensibilisation peut être porté sur l'ensemble des vallées pyrénéennes. Il est également nécessaire de poursuivre le suivi régulier des niveaux de particules émises par la biomasse.

Pour Toulouse, les deux épisodes de pollution observés pendant l'hiver 2015-2016 sont également dus aux particules issues du chauffage au bois émises localement et qui se sont accumulées en raison des conditions météorologiques peu favorables à la dispersion.



Graph 37 : Estimation des contributions des sources aux particules par approche monotracteur sur le Territoire de LOURDES - MOYENNE HIVERNALE et EPISODES DE POLLUTION



Graph 38 : Estimation des contributions des sources aux particules par approche monotracteur sur TOULOUSE - MOYENNE HIVERNALE et EPISODES DE POLLUTION

Lors de la campagne de caractérisation des particules réalisées au cours de l'hiver 2013-2014, les différentes contributions des sources avaient été décrites pour un épisode de pollution hivernal aux particules observé le 05 décembre 2013 sur Toulouse.

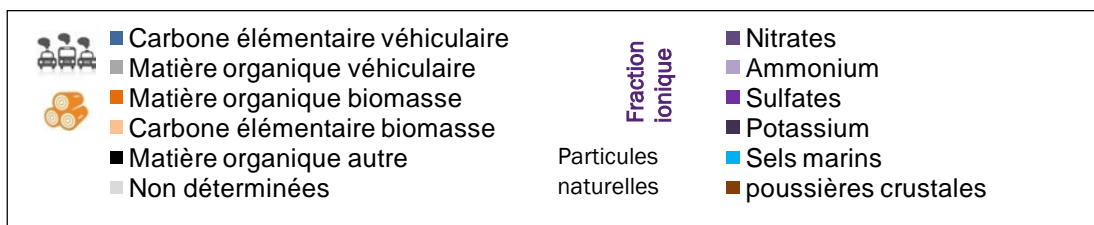
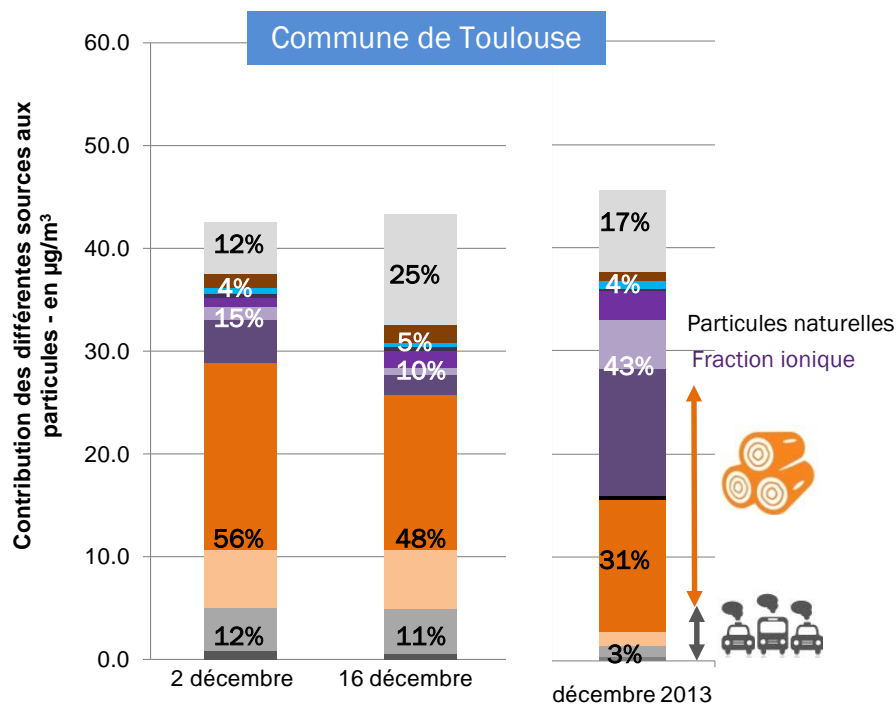
Lors de l'épisode de pollution observé en 2013, les parts des sources biomasse et véhiculaire étaient similaires à celles obtenues sur la période hivernale moyenne. En revanche, la part de la fraction ionique, et plus particulièrement des ions nitrate, était en hausse au détriment de la fraction non déterminée. La formation du nitrate d'ammonium nécessite, entre autres, la présence d'oxydes d'azote dans l'atmosphère, polluant principalement émis par les transports routiers sur Toulouse.

Cet épisode de pollution hivernal était donc dû à la recombinaison de polluants gazeux émis localement en particules secondaires qui se sont accumulés en raison de conditions météorologiques particulières (anticyclonique avec des températures faibles).

Ces résultats mettent en évidence que les épisodes de pollution aux particules sur Toulouse sont complexes car ils ne sont pas imputables à une source unique de particules. Ils sont dus à la combinaison de particules issues du chauffage au bois et de particules secondaires dans des proportions variables.

Plusieurs actions sont donc nécessaires pour réduire les niveaux de particules sur Toulouse :

- Limiter la formation de particules secondaires, en réduisant à l'échelle locale, les émissions du trafic routier et en agissant de manière pérenne sur les pratiques agricoles pour réduire les émissions d'ammoniac dans l'air à l'échelle française et européenne
- Mener des campagnes de sensibilisation à destination des usagers du chauffage au bois et des citoyens susceptibles de brûler leurs déchets végétaux à l'air libre.



ANNEXE X : CONDITIONS METEOROLOGIQUES DE L'HIVER 2015 - 2016

(Source Météo-France)

Un hiver particulièrement doux

La fin du mois de novembre et le mois de décembre 2015 sont marqués par une douceur exceptionnelle. Les conditions sont anticycloniques au mois de décembre. Lors de la première quinzaine de décembre, l'amplitude thermique est très élevée dans les pyrénées avec des températures minimales souvent négatives et des maximales de 15 à 18°C. Sur la deuxième partie du mois, les températures deviennent printanières de jour comme de nuit. Dans la continuité du mois de décembre, les mois de janvier et février sont empreint d'une douceur persistante accompagnée de pluies. Le mois de février se termine cependant avec une brutale chute des températures.

Cet hiver 2015 - 2016 a donc été exceptionnellement doux, avec des chutes de neiges en déficit et un nombre de jours de gel deux à trois fois plus faible que la normale. Côté précipitations, après un temps très sec en décembre, moyennement arrosé en janvier, et très pluvieux en février, le cumul des pluies sur les trois mois est proche de la normale.

Une consommation de chauffage plus faible que les années précédentes

Les DJC (Degré Jour de Chauffe) permettent de réaliser des estimations de consommations d'énergie thermique en proportion de la rigueur de l'hiver en fonction de :

- La température extérieure (liée à la météo)
- La température intérieure de référence souhaitée (fixée à 18°C)

Il existe deux méthodes de calculs des DJC. La méthode utilisée ici est la méthode 'météo' :

Si $S \leq \text{Moy}$: DJ = 0

Si $S > \text{Moy}$: DJ = S - Moy

Avec

S : seuil de température de référence choisi.

Moy = $(T_n + T_x)/2$: température moyenne de la journée.

T_n : température minimale du jour J mesurée à 2 mètres du sol sous abri et relevée entre J-1 (la veille) à 18h et J à 18h UTC.

T_x : température maximale du jour J mesurée à 2 mètres du sol sous abri et relevée entre J à 06h et J+1 (le lendemain) à 06h UTC.

Sur Lourdes, entre le 15 novembre 2015 et le 15 avril 2016, le DJU total était de 1470. Sur la même période, en 2014-2015, le DJU était de 1627. La douceur de l'hiver 2015 - 2016 a engendré une consommation de chauffage légèrement plus faible que l'hiver précédent.



ANNEXE XI : RÉSULTATS DES MESURES DE BENZO(A)PYRÈNE DANS L'ENVIRONNEMENT DE LOURDES ET TOULOUSE

LES FAITS MARQUANTS DE LA CAMPAGNE DE MESURES

- Respect de la réglementation
- Des niveaux plus élevés de benzo(a)pyrène sur le territoire de Lourdes en comparaison de l'agglomération toulousaine liés à l'utilisation plus importante du chauffage au bois

LE BENZO(A)PYRÈNE: SOURCES ET EFFETS SUR LA SANTE ET L'ENVIRONNEMENT

SOURCES

Le benzo(a)pyrène est un composé appartenant à la famille des hydrocarbures aromatiques polycycliques. Il est noté en abrégé B(a)P.

Le benzo[a]pyrène n'est pas fabriqué, et n'a pas d'utilisation industrielle. C'est un composé omniprésent dans l'environnement parce qu'il se forme au cours des combustions incomplètes. Il est ainsi produit dans les fumées de combustion de la biomasse (combustion mal maîtrisée du bois, brûlage de végétaux à l'air libre) et est également présent dans les gaz d'échappement automobiles.

EFFETS SUR LA SANTE

Le B(a)P est l'un des hydrocarbures aromatiques polycycliques les plus toxiques. Il est classé cancérigène certain (groupe 1) par le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer)

Benzo(a)pyrène : respect de la réglementation sur la période de mesures

Les niveaux de benzo(a)pyrène sur le territoire de Lourdes et sur Toulouse respectent la réglementation française pour l'hiver 2015-2016.

La période hivernale est la période pour laquelle les niveaux les plus élevés sont mesurés pour ce polluant.

En été, les concentrations en benzo(a)pyrène dans l'air sont plus faibles en raison :

- d'une émission moindre de ce polluant du fait de l'arrêt de l'utilisation du chauffage,
- de sa dégradation rapide lors de processus photochimiques,
- de conditions atmosphériques favorables à la dispersion des polluants.

De ce fait, les niveaux de benzo(a)pyrène sur le territoire de Lourdes et sur Toulouse respectent la réglementation française sur l'année.

		BENZO(a)PYRENE			
		Respect de la réglementation	Valeurs réglementaires	Période du 22 novembre 2015 au 2 avril 2016	Comparaison avec le fond urbain de Toulouse
Exposition de longue durée	Valeur cible	OUI	1 ng/m ³ en moyenne annuelle	1 jour tous les 6 jours : Territoire de Lourdes : 0.31 ng/m ³ Agglomération toulousaine : 0.11 ng/m ³	>

ng/m³ : nanogramme par mètre cube

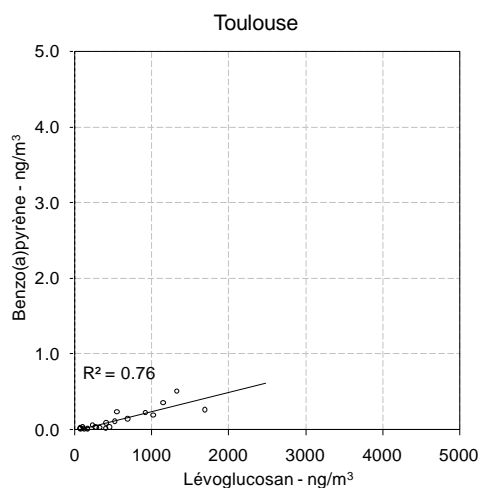
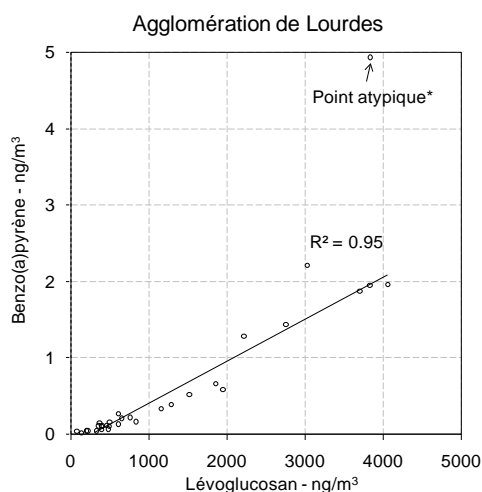
Benzo(a)pyrène : Des niveaux trois fois plus élevés sur le territoire de Lourdes en comparaison de Toulouse

Les niveaux de benzo(a)pyrène mesurés sur le territoire de Lourdes sont trois fois plus élevés que ceux relevés sur Toulouse.

L'étude des corrélations existantes entre les différents composés analysés dans le cadre de la caractérisation des particules a mis en évidence une très forte corrélation entre le benzo(a)pyrène et le lévoglucosan, composé reconnu comme traceur non ambigu de la combustion de biomasse sur le territoire de Lourdes. **Cette corrélation indique que le benzo(a)pyrène peut être utilisé sur Lourdes comme un marqueur de la combustion de biomasse.** Une corrélation existe également pour Toulouse, mais elle n'est pas aussi forte,

le benzo(a)pyrène est émis par la combustion de biomasse mais également d'autres sources.

L'utilisation du chauffage au bois sur le territoire de Lourdes et la pratique de l'écobuage dans les zones montagneuses environnantes engendre des niveaux de benzo(a)pyrène plus élevés que sur Toulouse. **Compte tenu de ces niveaux importants de benzo(a)pyrène, nous pouvons supposer que la population de Lourdes est également exposée à des niveaux importants d'autres hydrocarbures polycycliques. Se pose donc la question de l'éventuel risque sanitaire dû à l'exposition aux particules sur le territoire de Lourdes.**



* non pris en compte dans le calcul du coefficient de détermination R²

Graph 39 : étude de la corrélation entre le lévoglucosan et le benzo(a)pyrène sur les deux sites étudiés

ANNEXE XII : IMPACT DES PARTICULES SUR LA SANTE

La commission européenne estime que l'exposition aux particules fines entraîne la mort prématurée de 42 000 personnes en France (année 2005).

Le projet Aphekom a établi pour neuf villes françaises que les niveaux trop élevés de particules (comparés au seuil recommandé par l'OMS) étaient responsables de :

- une augmentation de 15% à 30% des asthmes chez les enfants résidant en proximité du trafic routier,
- près de 1 000 hospitalisations pour causes respiratoires ou cardiaques (PM10),
- 3 000 décès par an (PM2,5).

En outre, les particules fines issue du diesel ont en outre été classées en 2012 dans la catégorie des « cancérogènes certains » par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC)

Les facteurs influant sur l'impact des particules

Les particules correspondent à un mélange complexe de substances organiques et minérales en suspension dans l'air, sous forme solide et/ou liquide (Afsset, 2006).

L'impact des particules sur la santé humaine dépend ainsi de plusieurs facteurs :

- leur quantité,
- leur taille
- leur composition chimique.

La quantité de particules

L'Organisation Mondiale de la Santé a établi qu'il existait un lien étroit entre l'exposition à des concentrations élevées en particules et un accroissement des taux de mortalité et de morbidité (respiratoire et cardiovasculaire notamment). Cependant, même à faible concentration, la pollution aux particules a une incidence sanitaire. Ainsi, aucun seuil au-dessous duquel la santé n'est pas affectée n'a pu être identifié. De ce fait, les impacts sanitaires (par exemple, le nombre de cas attribuables sur une année complète) les plus importants ne sont pas associés aux niveaux de pollution les plus élevés mais plutôt aux niveaux de fond plus faibles habituellement rencontrés.

La taille des particules

La taille des particules conditionnent leur aptitude à pénétrer et à demeurer plus ou moins profondément dans l'appareil respiratoire.

Les particules PM2,5 dites particules fines constituent la fraction respirable c'est-à-dire qu'elles passent la barrière du nez par inhalation et se déposent dans les bronches et dans les poumons jusqu'aux alvéoles pulmonaires où les échanges entre l'aérosol et l'organisme sont facilités.

La composition chimique des particules

Les particules n'ont pas une composition chimique figée, elles sont formées d'un nombre important de composés dont la toxicité varie. En outre, la combinaison de certains composés chimiques peut augmenter la toxicité.

Les particules issues des processus de combustion et les particules secondaires contribuent à la fraction fine (PM2,5) tandis que les particules issues de processus mécaniques contribuent davantage à la fraction grossière. Elles sont donc comprises dans la fraction entre 2,5 et 10 µm.

De nombreuses études évaluent donc le lien existant entre certains composés chimiques des particules et leurs effets sur la santé.

Le carbone élémentaire est un élément de très faible taille. Il est principalement présent dans les PM1 (diamètre est inférieur ou égal à 1 µm). De par sa cette propriété physique, le carbone élémentaire pénètre profondément dans l'appareil respiratoire et s'y dépose. engendrant, lors d'expositions chroniques, une inflammation du système respiratoire. Il peut également passer dans le sang à travers la paroi alvéolaire, favorisant les risques cardiovasculaires.

Il a donc une responsabilité dans l'augmentation de la mortalité et/ou du nombre d'hospitalisations dues à des pathologies respiratoires ou cardiovasculaires.

Cependant, d'un point de vue toxicologique, la fraction organique et métallique associée au carbone élémentaire dans les particules a un impact sur la santé plus important. En effet, cette composante organique contient des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques et des quinones à la toxicité reconnue. Ceux-ci peuvent être à l'origine de métabolites actifs susceptibles d'effets toxiques voire cancérogènes ou mutagènes.

Le carbone élémentaire peut également être le vecteur de métaux lourds et de métaux de transition. Ils peuvent induire un stress oxydant à l'origine d'une réponse inflammatoire. Enfin, dans l'atmosphère, les particules se modifient en fixant par exemple, des molécules biologiques comme des endotoxines (provenant de la paroi des bactéries) ou des allergènes provenant de grains de pollen ou de spores de champignon. Ces différentes molécules adsorbées vont pénétrer dans les voies aériennes avec les particules et induire elles-mêmes des réponses biologiques.

Pour les particules secondaires, un lien entre concentrations en sulfates et la morbidité et la mortalité pour troubles cardiovasculaires à été établie.

Pour les nitrates et l'ammonium, l'Afsset a conclu en 2009 que leur rôle direct dans la toxicité aiguë des particules n'était pas majoritaire.



ORAMIP

OBSERVATOIRE RÉGIONAL
DE L'AIR EN MIDI-PYRÉNÉES

Surveillance de la qualité de l'air en Midi-Pyrénées

24 heures/24 • 7 jours/7

• • prévisions • •

• • mesures • •



L'information
sur la qualité de l'air
en Midi-Pyrénées :
www.oramip.org

ÉTUDE RÉALISÉE PAR L'ORAMIP EN PARTENARIAT AVEC LE CONSEIL RÉGIONAL MIDI-PYRÉNÉES - PROGRAMME 2015

