

Cartographie régionale des poussières PM_{2,5}



MESURES ET CARTOGRAPHIE ANNUELLE 2012

www.air-rhonealpes.fr



Diffusion : Juillet 2013

Siège social : 3 allée des Sorbiers – 69500 BRON

Tel : 09 72 26 48 90 - Fax : 09 72 15 65 64

contact@air-rhonealpes.fr





Air Rhône-Alpes est issu du rapprochement de 6 associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'Air (Air-APS, AMPASEL, ASCOPARG, ATMO Drôme-Ardèche, COPARLY, SUP'AIR). Cette régionalisation a eu lieu le 1^{er} janvier 2012 et a eu lieu suite aux orientations prises par le Grenelle de l'Environnement et transcrites par Décret Ministériel (2010-1268 du 22 octobre 2010).

CONDITIONS DE DIFFUSION

Air Rhône-Alpes est une association de type « loi 1901 » agréée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable des Transports et du Logement (*décret 98-361 du 6 mai 1998*) au même titre que l'ensemble des structures chargées de la surveillance de la qualité de l'air, formant le réseau national ATMO.

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'Etat 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.

Air Rhône-Alpes communique publiquement sur les informations issues de ses différents travaux et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux.

A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur le site www.air-rhonealpes.fr

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Air Rhône-Alpes. Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © Air Rhône-Alpes (2013) « Cartographie régionale des poussières PM_{2,5} »

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

Par ailleurs, Air Rhône-Alpes 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 Air-Rhône-Alpes :

- depuis le formulaire de contact sur le site www.air-rhonealpes.fr
- par mail : contact@air-rhonealpes.fr
- par téléphone : 09 72 26 48 90

Un questionnaire de satisfaction est également disponible en ligne à l'adresse suivante <http://www.surveymonkey.com/s/ecrits> pour vous permettre de donner votre avis sur l'ensemble des informations mis à votre disposition par l'observatoire Air Rhône-Alpes.

Cette étude a reçu le concours financier de la DREAL Rhône-Alpes.

Sommaire



Résumé.....	5
1. Contexte et introduction.....	7
2. Amélioration des connaissances - Métrologie.....	10
2.1. Décroissance en proximité routière.....	10
2.1.1. Sites de mesures.....	10
2.1.2. Le matériel de mesures.....	11
2.1.3. Période de mesures.....	11
2.1.4. Artefact de prélèvement.....	12
2.1.5. Evaluation de la décroissance.....	12
2.2. Evaluation du niveau de fond en PM2,5.....	14
2.2.1. Site de mesures.....	14
2.2.2. Le matériel de mesures.....	15
2.2.3. Période de mesures.....	15
2.2.4. Résultats.....	16
2.3. Composition Chimique des PM2,5.....	17
2.3.1. Dispositif métrologique.....	17
2.3.2. Analyse de la composition chimique.....	18
2.3.3. Résultats.....	19
3. Modélisation.....	22
3.1. Méthodologie.....	22
3.1.1. Présentation du modèle PREVALP.....	22
3.1.2. Hypothèses de calcul de la chaîne PREVALP.....	23
3.1.3. Présentation du modèle SIRANE.....	23
3.1.4. Caractéristiques de la simulation SIRANE.....	24
3.2. Cartographie des résultats.....	24
3.2.1. Cartographie.....	24
3.2.2. Comparaison modèle/mesures.....	25
3.2.3. Exposition de la population.....	28
4. Conclusion et perspectives.....	29

Annexes

ANNEXE 1 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT SUNSET LABORATORY.....	31
ANNEXE 2 : CORRESPONDANCE DATES ET N° DE PRELEVEMENT.....	32



Résumé



De nombreuses études épidémiologiques montrent que les particules PM10 et PM2,5 sont associées à des impacts sur la santé humaine. Les très fines particules (PM2,5) présentent un enjeu important vis-à-vis de la réglementation et notamment dans les zones les plus exposées aux surémissions de polluants dues au trafic routier, comme les agglomérations de plus de 100 000 habitants et les abords d'axes routiers interurbains importants.

Il est donc essentiel de disposer d'outils permettant de décrire chaque année la répartition spatiale de ces polluants atmosphériques afin d'évaluer les zones géographiques affectées par des dépassements de valeurs limites, de quantifier les populations exposées à ces dépassements, d'identifier les « points noirs » et de concevoir des stratégies de réduction des impacts.

L'objectif de ce travail est la **réalisation d'une cartographie régionale des PM2,5**. Dans le cadre de ce travail, des mesures ont été mises en œuvre dans un premier temps afin d'améliorer les connaissances sur la décroissance des concentrations de PM2,5 en fonction de l'éloignement d'un axe routier important en milieu urbain, la quantification du niveau de fond des PM2,5 et la composition chimique des particules en zone rurale.

Sur les deux secteurs instrumentés pour l'évaluation de la décroissance des concentrations de PM2,5 aux abords d'un axe routier, les résultats sont contrastés. Sur l'ensemble de la période de mesure, une décroissance d'environ $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ est notable entre le site en proximité immédiate de l'A7 (Lyon) et le site localisé à 100 mètres de la voie. Sur le site d'étude grenoblois, la décroissance est en revanche inexistante avec une moyenne en proximité immédiate à $20 \mu\text{g.m}^{-3}$. Les mesures en milieu rural ont montré que la présence de stations rurales régionales est nécessaire pour estimer les contributions de l'import dans les concentrations de particules observées en zone urbaine.

Une méthode composite a été développée afin de combiner les modèles PREVALP (échelle régionale) et SIRANE (échelle de la rue) à une résolution de 250 mètres sur l'ensemble de la région. La cartographie annuelle régionale 2012 montre que les zones les plus impactées par les PM2,5 restent les agglomérations. Lyon, Grenoble et Chambéry présentent les concentrations les plus élevées. Hors agglomération, aucun dépassement de valeur réglementaire n'est à relever. Les concentrations présentent globalement moins de variabilité spatiale que les PM10. Néanmoins, certaines zones comme les vallées alpines, la vallée du Rhône et le val de Saône présentent des concentrations plus élevées qui peuvent dépasser $20 \mu\text{g.m}^{-3}$ (valeur limite 2020).

Le territoire très contrasté de Rhône-Alpes implique une très forte variabilité spatiale de l'incertitude. Cette dernière dépend en effet de plusieurs paramètres aussi bien liés à la méthodologie qu'aux variables locales (variation d'altitude, topographie, influence locale, typologie). Sur l'ensemble des stations de mesures, l'incertitude du modèle pour la moyenne annuelle reste en dessous de 21%, c'est en milieu rural qu'elle est la plus élevée. L'incertitude globale du modèle, inférieure à 50%, reste conforme à l'objectif qualité de la réglementation européenne.

La modélisation régionale ne montre aucune population exposée à une moyenne annuelle supérieure à $27 \mu\text{g.m}^{-3}$ hors des grandes agglomérations. Sur l'ensemble de la région, très peu d'habitants (moins de 0,01% de la population) sont soumis au dépassement de la valeur réglementaire sur 2012.

Le travail réalisé a mis en évidence des pistes d'amélioration de cette première cartographie comme l'ajout de stations virtuelles dans le modèle. Il ressort également la nécessité d'une bonne représentation des niveaux de particules en zone rurale, par la réalisation de campagnes de mesure en un ou plusieurs points supplémentaires.



1. Contexte et introduction

De nombreuses études épidémiologiques montrent que les particules PM10 et PM2,5 sont associées à des impacts sanitaires. Les particules fines (PM2,5), de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5µm, sont celles qui entrent le plus profondément dans les poumons. Elles peuvent être associées à des impacts à court-terme (cardiaques et/ou respiratoires) mais également à long terme avec une réduction de l'espérance de vie et une augmentation du risque de développer des maladies cardiovasculaires et respiratoires. Il n'a par ailleurs pas été démontré qu'il existerait un seuil de concentration au-dessous duquel aucun impact ne serait observé¹.

Les particules présentes dans l'air sont **des particules « primaires »** et **des particules « secondaires »**. Les particules primaires sont émises directement par les sources telles que les transports, et notamment les véhicules diesel, et le chauffage. En Rhône-Alpes, le chauffage, et tout particulièrement le chauffage individuel au bois, représente une part importante des sources de particules primaires (cf. Figure 1).

Les particules secondaires sont formées dans l'atmosphère par réactions chimiques à partir de gaz et des particules primaires.

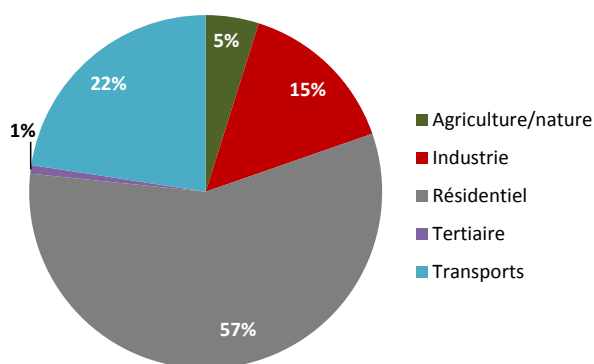


FIGURE 1 CONTRIBUTION DES DIFFERENTS SECTEURS D'ACTIVITE AUX EMISSIONS PRIMAIRES DE PM2,5 EN RHONE-ALPES (SOURCE : AIR RHONE-ALPES - ANNEE 2010 –V2012-2)

La mesure des particules fines PM2,5 est obligatoire depuis la parution de la Directive Européenne du 21 mai 2008. Cette directive définit une valeur limite à respecter en 2015 de 25 µg.m⁻³ en moyenne annuelle. Des marges de dépassement sont acceptées jusqu'en 2015 : en 2013, la valeur à respecter en moyenne annuelle est de 27 µg.m⁻³.

L'objectif de qualité français reprend la valeur de 10 µg.m⁻³, recommandée par l'Organisation Mondiale de la Santé.

En 2012, 10 stations urbaines, 5 stations trafic et 1 station rurale mesuraient en continu les PM_{2,5} sur la région Rhône-Alpes (cf. Figure 2 : cartographie des sites fixes équipés de mesure PM2,5).

Les moyennes annuelles observées en 2012 sur ces stations sont toutes inférieures à la valeur limite 2015 (cf. Figure 3), mais dépassent l'objectif de qualité.

¹ ANSES (2012) Sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières

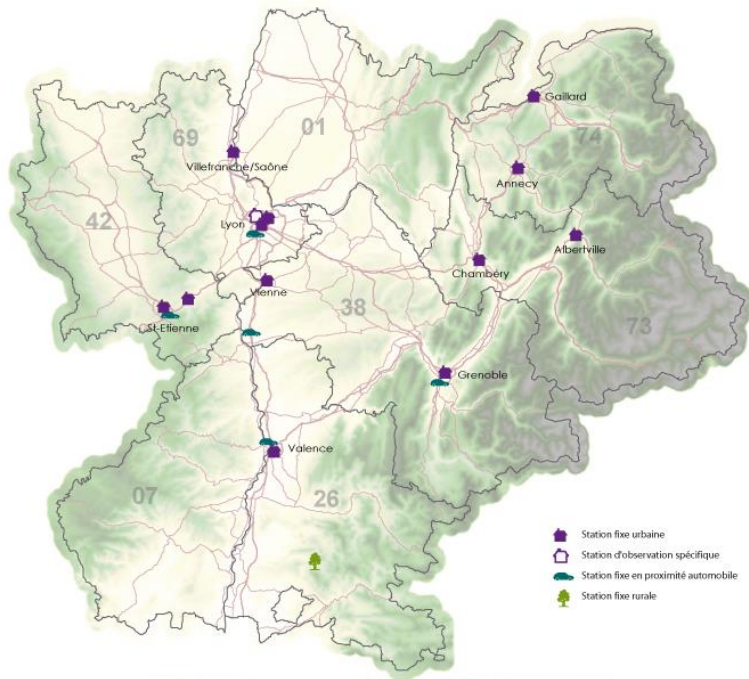


FIGURE 2 : CARTOGRAPHIE DES SITES FIXES EQUIPES DE MESURE PM2,5

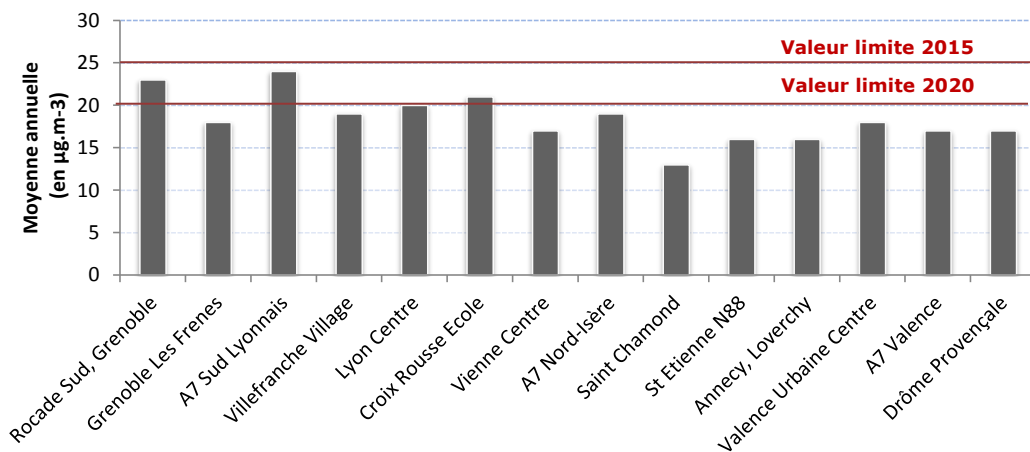


FIGURE 3 MOYENNE ANNUELLE 2012 EN PM2,5 SUR LES STATIONS DE SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR DE RHONE-ALPES

Depuis 2007, les concentrations de PM2,5 en Rhône-Alpes montrent une tendance à la baisse (cf. Figure 4).

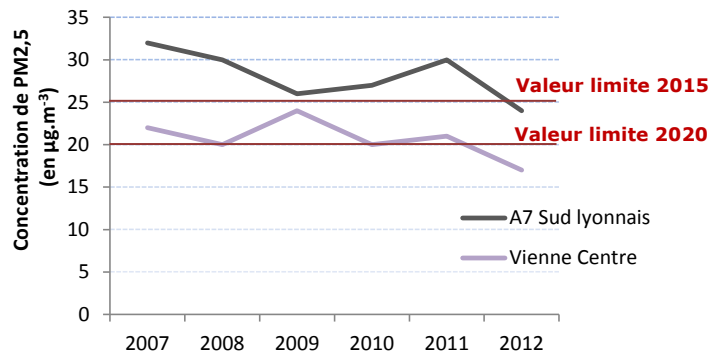


FIGURE 4 EVOLUTION DE LA MOYENNE ANNUELLE EN PM2,5 SUR LES STATIONS TRAFIC D'A7 SUD LYONNAIS ET URBAINE DE VIENNE

L'axe 1 du Plan de Surveillance de la Qualité de l'Air de Rhône-Alpes 2011-2015 prévoit la cartographie régionale des polluants atmosphériques pour garantir l'évaluation réglementaire du territoire rhônalpin. En complément des données météorologiques, la production d'une cartographie d'exposition est un élément essentiel de l'observatoire de la qualité de l'air.

Parmi les 12 polluants à cartographier d'ici 2015, les très fines particules (PM_{2,5}) présentent un enjeu important vis-à-vis de la réglementation et notamment sur les zones les plus exposées de surémissions trafic comme les agglomérations de plus de 100 000 habitants et aux abords d'axes routiers interurbains importants. Il est essentiel de disposer d'outils permettant de décrire la répartition spatiale de ces polluants atmosphériques afin d'évaluer les zones géographiques affectées par des dépassements de valeurs limites, de quantifier les populations exposées à ces dépassements, d'identifier les « points noirs » et de concevoir des stratégies de réduction des impacts. Depuis plusieurs années, Air Rhône-Alpes a placé la cartographie des polluants atmosphériques au cœur de sa stratégie de surveillance de la qualité de l'air. L'objectif de ce travail est donc la réalisation d'une cartographie régionale des PM_{2,5}.

Dans le cadre de ce travail, des mesures ont également été mises en œuvre dans un premier temps afin d'améliorer les connaissances sur la décroissance des PM_{2,5} vis-à-vis de l'éloignement d'un axe routier important en milieu urbain, la quantification du niveau de fond des PM_{2,5} et la composition chimique des particules en zone rurale.

2. Amélioration des connaissances - Métrologie

En 2012, 71 stations fixes ont permis de suivre en temps réel et en continu l'ensemble des polluants réglementés. 10 d'entre elles sont équipées d'analyseurs de poussières fines à microbalance (TEOM FDMS) permettant de mesurer en continu les concentrations en PM_{2,5} en milieu de fond urbain ou de fond rural. 6 stations de mesure sont équipées de TEOM FDMS PM_{2,5} en proximité automobile. Les sites sont localisés de manière hétérogène sur l'ensemble du territoire aussi bien en termes de typologie que de géographie afin de fournir une information complémentaire sur l'ensemble du territoire.

Afin d'améliorer les connaissances sur les PM_{2,5}, des mesures complémentaires ont été mises en place en proximité automobile et en milieu rural.

2.1. Décroissance en proximité routière

2.1.1. Sites de mesures

Des sites de mesures complémentaires au réseau fixe ont été implantés en proximité automobile afin d'améliorer les connaissances sur la décroissance des concentrations de particules fines aux abords d'axes routiers. Deux zones ont été ciblées : l'autoroute A7 au sud de Lyon et la rocade sud à proximité de l'échangeur du Rondeau de Grenoble.

Ces 2 zones sont surveillées en continu grâce à des stations fixes situées à moins de 5 mètres du centre de l'axe. Pour cette étude, des mesures situées à environ 100 mètres du centre de la voie sont venues compléter ces stations.

La station fixe A7 Sud Lyonnais est complétée par une mesure au technicentre SNCF d'Oullins



110 mètres de l'A7
Vents dominants : N/S

FIGURE 5 : ZONE D'ETUDE DE DECROISSANCE DES PM_{2,5} AU NIVEAU DE L'A7 ET LOCALISATION DES SITES DE GRAVIMETRIE

La station fixe Grenoble Rocade Sud (ou Rondeau) est complétée par une mesure au musée de la viscose



FIGURE 6 : ZONE D'ÉTUDE DE DÉCROISSANCE DES PM_{2,5} AU NIVEAU DE LA ROCADE SUD A GRENOBLE ET LOCALISATION DES SITES DE GRAVIMÉTRIE

2.1.2. Le matériel de mesures

Les méthodes de mesure des particules sont variées. Les stations fixes sont équipées d'analyseurs automatiques en continu à microbalance de type TEOM-FDMS qui permettent la mesure de concentration massique. Pour des raisons techniques (facilité de déplacement, de maintenance, disponibilité du matériel, coût), les mesures complémentaires ont été effectuées par prélèvements manuels sur filtre. Le choix s'est porté sur des préleveurs Partisol. L'air est aspiré pendant 24h à un débit de 1m³/h. Après exposition, les filtres sont pesés en laboratoire afin de déduire la concentration moyenne pendant la durée du prélèvement.

Des Partisols ont donc été implantés sur les sites du techni-centre et du musée de la viscose à environ 100 mètres de l'axe pour étudier la décroissance des concentrations.

Des mesures par prélèvements ont également été mises en place sur les sites des stations fixes. Les mesures automatiques des appareils existants sur le réseau de mesures continu ont ainsi permis de comparer et de valider les mesures complémentaires.

2.1.3. Période de mesures

Les conditions météorologiques hivernales étant propices à la hausse des concentrations en particules (inversion de température, chauffage au bois), les mesures ont été programmées entre début janvier et fin mars.

Afin de couvrir une période suffisamment longue, la fréquence de prélèvement était de 1 jour sur 3. En cas d'épisode de pollution aux particules fines, la fréquence augmentait à 1 prélèvement par jour.

Cette fréquence d'échantillonnage a été basée sur l'historique de l'année 2011, afin de respecter à la fois les contraintes de durée et de coût.

Dans la mesure du possible, les prélèvements ont été faits en parallèle sur les 4 sites de mesures (2 sur Grenoble et 2 sur Lyon). Au total, 176 filtres ont été analysés.

Des difficultés techniques lors de la mise en place de l'appareil sur le site du musée de la viscose ont impliqué un retard conséquent du début des mesures sur ce site.

La plupart des mesures ont en effet débuté le 9 janvier, les mesures au musée de la viscose ont commencé le 23 février. La fréquence des prélèvements a été de 1 filtre par jour pendant quasiment tout le mois de février sur l'ensemble des 4 sites.

2.1.4. Artefact de prélèvement

Après exposition sur les sites de mesures, les filtres sont rapatriés et pesés en laboratoire afin de déduire les concentrations de particules PM_{2,5}. Néanmoins, il existe aussi un fort impact potentiel des artefacts de prélèvements, dont, en particulier, la re-volatilisation de composés instables (la fraction semi-volatile des particules) entre le début de l'exposition et la pesée du filtre.

En effet, le chlore, le nitrate, le carbone organique, les hydrocarbures aromatiques polycycliques sont des espèces pouvant se retrouver sous des formes semi-volatiles dans l'atmosphère et pour lesquelles une partie peut se re-volatiliser au cours des prélèvements. Il est donc normal que certains résultats par prélèvement soient inférieurs aux moyennes des concentrations FDMS des stations fixes qui sont mesurées en quart horaire en continu.

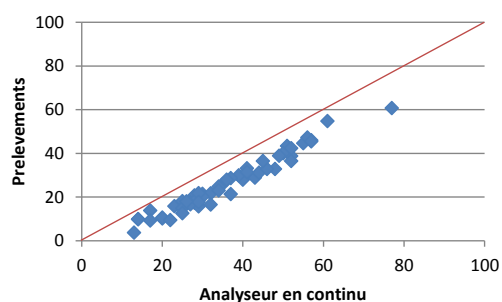


FIGURE 7 : COMPARAISON ENTRE LES MESURES PAR ANALYSEURS ET PAR PRÉLÈVEMENTS SUR PARTISOL SUR LE SITE DE LA ROCADE SUD DE GRENOBLE PENDANT TOUTE LA PÉRIODE DE MESURE

2.1.5. Evaluation de la décroissance

Les sites équipés de préleveur par filtre ont permis de décrire la décroissance des PM_{2,5} en fonction de l'éloignement aux axes routiers étudiés.

Sur l'ensemble de la période de mesure, une décroissance d'environ 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ est notable entre le site situé en proximité immédiate de l'A7 (Lyon) et le site localisé à 100 mètres de la voie. Rappelons que ces concentrations ne sont pas représentatives de l'ensemble de l'année mais des jours les plus pollués.

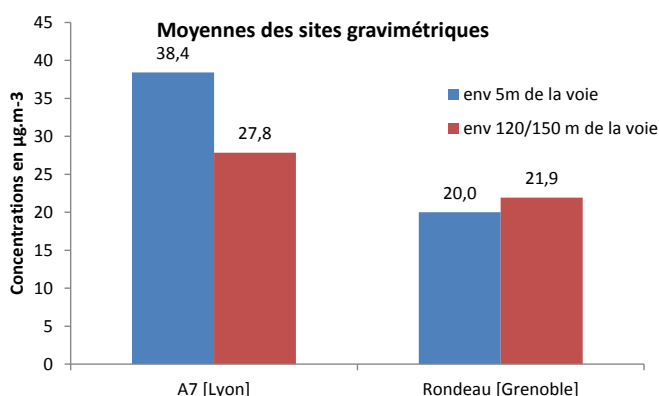


FIGURE 8 : MOYENNE DES 4 SITES DE MESURES GRAVIMÉTRIQUES ET ÉTUDE DE LA DÉCROISSANCE

Sur le site d'étude grenoblois, la décroissance est en revanche inexistante avec une moyenne en proximité immédiate à $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ et une moyenne sur le site du musée de la viscose à $22 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. La décroissance sur le site de Lyon est marquée sur toute la période des mesures. Certains jours, la différence entre le site d'A7 Sud Lyonnais et le site localisé à 110 mètres peut atteindre plus de $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

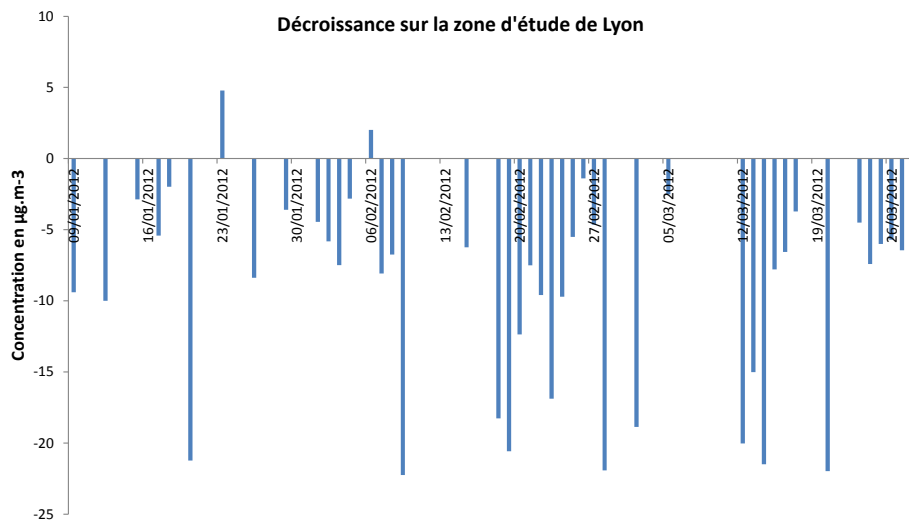


FIGURE 9 : EVALUATION DE LA DECREMENTATION JOURNALIERE SUR LE SITE LYONNAIS DE L'A7. DIFFERENCE JOURNALIERE ENTRE LES CONCENTRATIONS MEASUREES A 5M ET A 110M DU CENTRE DE LA VOIE

En ce qui concerne les sites de Grenoble, plusieurs facteurs peuvent expliquer l'absence de décroissance :

- Le point de mesure, bien que situé à 150 mètres de la station fixe est localisé à 90 mètres du rond point du Rondeau et peut subir l'influence de ce dernier.
- Le préleveur du site du musée de la viscose, pour des raisons de sécurité, a été placé en hauteur. La différence de hauteur de prélèvement peut également influencer sur les concentrations.
- La présence de travaux à proximité du site de la viscose peut aussi avoir eu un impact sur les mesures.
- Les artefacts de prélèvements (cf. paragraphe 2.1.4 Artefacts de prélèvements) peuvent également expliquer les concentrations plus basses sur le site localisé à 5 mètres de la voie.

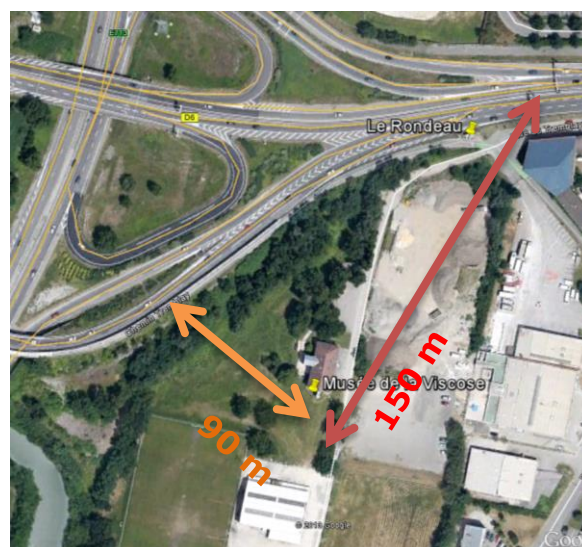


FIGURE 10 : ZOOM SUR LA ZONE D'ETUDE GRENOBLOISE AUX ABORDS DE LA ROCADE ET DU ROND-POINT DU RONDEAU

2.2. Evaluation du niveau de fond en PM_{2,5}

Le réseau de surveillance des PM_{2,5} se compose de stations en proximité automobile, de stations urbaines et d'une station rurale. Ces stations représentent les différentes contributions possibles à la concentration finale mesurée sur un site.

En proximité automobile, la concentration de particules PM_{2,5} est issue des différentes contributions suivantes (cf. Figure 11) :

- Le trafic routier sur l'axe en proximité,
- Les particules émises et formées localement au niveau urbain,
- Les particules importées d'autres régions ou pays.

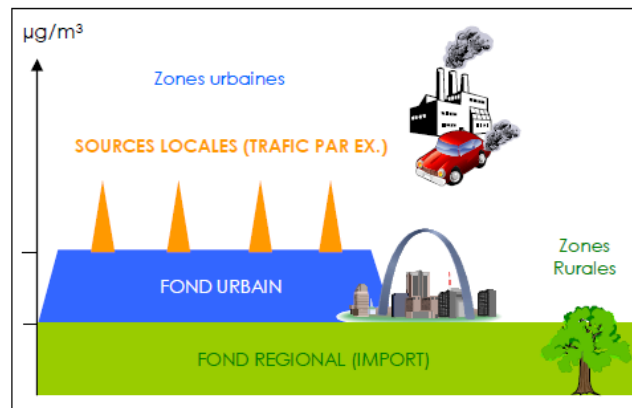


FIGURE 11 CONTRIBUTION DES SOURCES AUX CONCENTRATIONS DE PARTICULES (EXTRAIT DE AIRPARIF, 2011)

L'association de surveillance de la qualité de l'air d'Ile de France, AIRPARIF, a réalisé en 2011² un important travail sur l'origine des particules en Ile de France afin d'estimer la part de ces différentes contributions sur leurs sites de mesure. Ces estimations permettent de mieux cibler les actions à mettre en place pour réduire les niveaux de particules dans l'air en fonction des échelles géographiques.

La présente étude vise à améliorer les connaissances sur les niveaux de fond régional en Rhône-Alpes.

2.2.1. Site de mesures

Dans le dispositif de surveillance de la qualité de l'air mis en œuvre par Air Rhône-Alpes, une seule station rurale régionale effectue un suivi des poussières PM_{2,5}, la station Drôme Provençale située sur la commune de Dieulefit dans la Drôme. Afin de compléter les connaissances sur ces poussières en zone rurale, un dispositif complémentaire a été installé dans le cadre de l'étude. Le site de mesures retenu a été le Col de l'Oeillon (Loire). Cette station est située à 1230 m d'altitude dans le parc naturel régional du Pilat.

² AIRPARIF (2011) Etude de la contribution des sources de particules en Ile de France



FIGURE 12 APPAREIL DE MESURES EN PLACE SUR LE SITE PILAT

2.2.2. Le matériel de mesures

Le matériel utilisé est un préleveur Partisol identique à ceux utilisés sur les sites de Lyon et Grenoble, présentés en paragraphe 2.1.2.

2.2.3. Période de mesures

L'appareil a été installé le 29 janvier 2012. Des prélèvements d'une durée de 24h ont été programmés avec une fréquence de 1 jour sur 3 jusqu'à mi-avril 2012. Sur ce site éloigné, et présentant un accès parfois difficile en hiver, les prélèvements n'ont pas pu être adaptés aux épisodes de pollution comme cela a été le cas sur Lyon et Grenoble.

Par ailleurs, suite à un incident technique, probablement en lien avec la température très basse, aucune mesure n'est disponible entre le 7 et le 25 février 2012. Deux mesures ont été invalidées le 4 et 10 avril 2012.

2.2.4. Résultats

Les concentrations journalières mesurées sur le site rural « Pilat » sont faibles. Sur les périodes de mesures, elles sont toujours inférieures à $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, valeur limite annuelle à respecter en 2015 (cf. Figure 13).

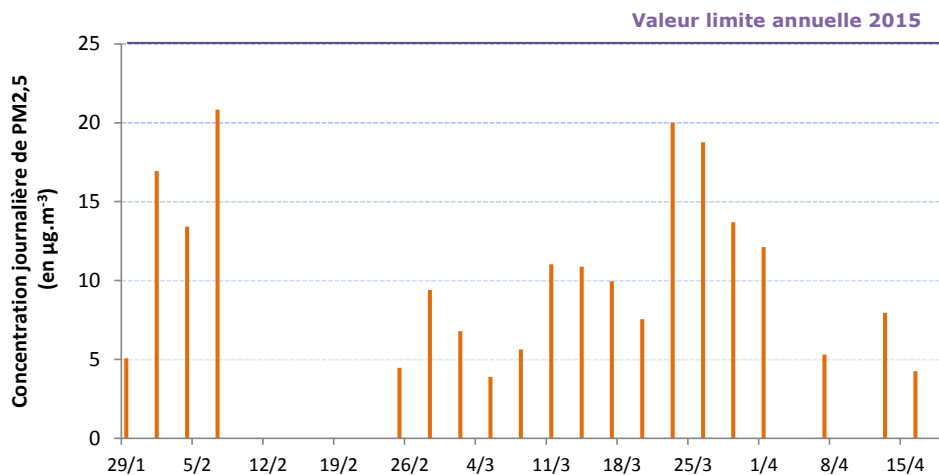


FIGURE 13 ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION JOURNALIÈRE EN PM2,5 SUR LE SITE PILAT

Du 29 janvier au 19 avril, on peut relever deux périodes qui présentent des concentrations un peu plus élevées : du 1 au 7 février et du 23 au 29 mars 2012.

En comparant les données par rapport à la station urbaine de Lyon Centre et à la station rurale de Drôme Provençale (cf. Figure 14), on peut voir que sur ces périodes la concentration de PM2,5 mesurée sur le site du Pilat présente le plus fort pourcentage par rapport aux autres sites.

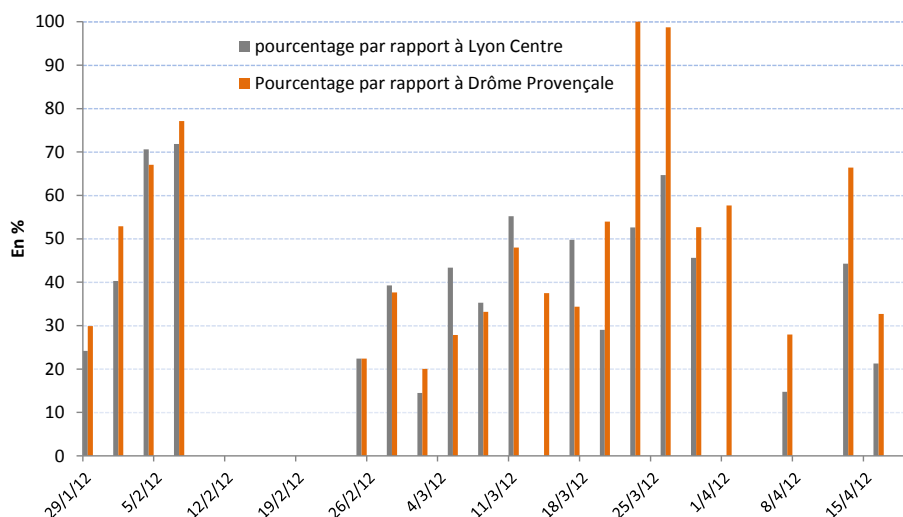


FIGURE 14 RATIOS ENTRE LES CONCENTRATIONS MESUREES SUR LE SITE PILAT ET SUR LES SITES LYON CENTRE ET DROME PROVENÇALE

Les rétrotrajectoires de début février montrent que la région Rhône-Alpes était sous l'influence début février d'une masse d'air provenant de l'Est de l'Europe (cf. Figure 15).

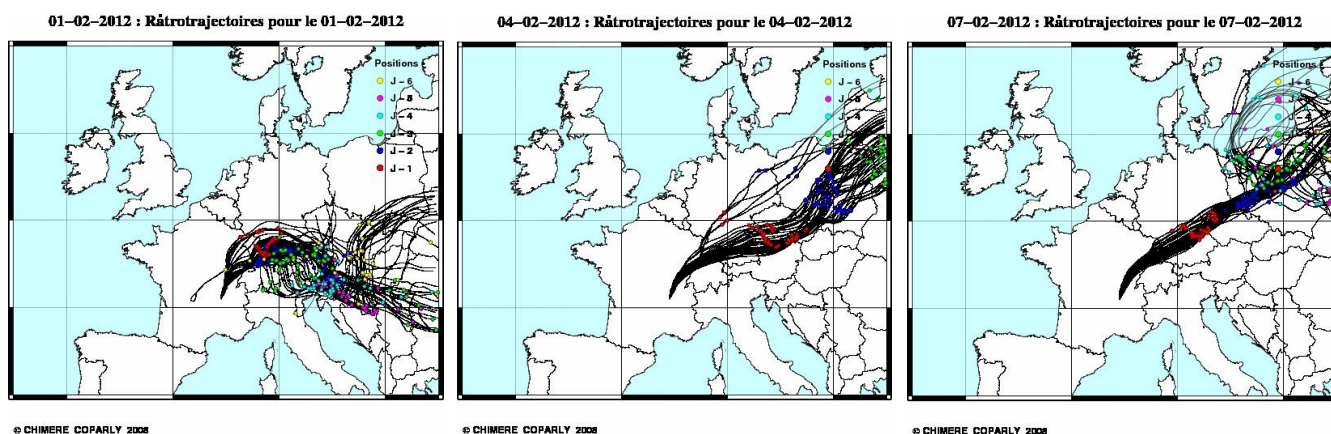


FIGURE 15 RETRO TRAJECTOIRES SUR LYON LES 1^{ER}, 4 FEVRIER ET LE 7 FEVRIER 2012

Sur la période de fin mars, les concentrations en PM_{2,5} sur les deux sites ruraux de la région Rhône-Alpes sont quasiment égales, cette période est également marquée par une masse d'air provenant de l'Est de l'Europe.

Ces résultats montrent que la présence de stations rurales régionales est nécessaire pour estimer les contributions de l'import dans les concentrations de particules observées en zone urbaine.

2.3. Composition Chimique des PM_{2,5}

2.3.1. Dispositif métrologique

La station urbaine de Lyon Centre est équipée d'un analyseur EC/OC en continu. Par ailleurs, des prélèvements sur filtres ont été effectués sur la station rurale de Drôme Provençale. Les filtres ont ensuite été analysés en laboratoire. Les prélèvements étaient prévus une fois par semaine pendant une durée de 24 heures.

A Lyon Centre, les mesures sont réalisées par un appareil Sunset Laboratory OCEC field analyzer. Il permet de quantifier, dans les particules de diamètre inférieur à 2,5µm (PM_{2,5}), le carbone organique (OC) et le carbone élémentaire (EC).

Par extension il permet de connaître la quantité totale de carbone, la quantité de matière organique ou encore le ratio carbone élémentaire/carbone total.

Analyseur : l'appareil se présente en un seul module (45 cm x 38 cm x 27 cm), auquel il faut ajouter 3 bouteilles de gaz (He, He/O₂ 10%, He/CH₄ 5%), une pompe pour échantillon, un dénudeur d'organiques (plaques en carbone), un cylindre-tampon et un ordinateur (portable).



FIGURE 16 APPAREIL SUNSET LABORATORY OCEC FIELD ANALYZER ACQUIS PAR COPARLY

2.3.2. Analyse de la composition chimique

L'analyse de la composition chimique des particules se décompose généralement de la manière suivante :

La matière organique

La matière organique (OM pour « Organic Matter ») est composée de différentes familles chimiques composées de carbone et d'autres atomes (Hydrogène, Oxygène, Azote,...), comme les acides, les alcanes, les HAP ou les sucres (comme le lévoglucosan). L'appareil Sunset mesure uniquement le carbone contenu dans la matière organique (OC). La relation entre OC et OM est une problématique scientifique qui fait largement débat, et les ratios sont variables selon les typologies de sites et environnements étudiés.

Pour cette exploitation des mesures, il a été utilisé un coefficient de 1,8 [AIRPARIF, LCSE, 2011].

La part de matière organique varie généralement de 20% à 30% en milieu urbain. Mais, en période hivernale, elle peut constituer jusqu'à plus de 60 % de la masse totale des PM, en lien notamment avec l'augmentation de la combustion de biomasse.

Le carbone élémentaire (EC) est également présent et sa proportion varie généralement entre 2% et 15% de la masse totale des PM.

La matière inorganique

Les espèces ioniques majeures, comme le nitrate d'ammonium ou le sulfate d'ammonium, formées dans l'atmosphère à partir de précurseurs (ammoniac, acide nitrique, dioxyde de soufre,...) caractérisent cette fraction. Les espèces ioniques peuvent représenter entre 30 et 45 % de la masse totale des PM.

Les poussières minérales ou crustales

Elles sont d'origine naturelle (exploitation des sols, érosion, sable du désert, sels marins). Elles peuvent représenter jusqu'à 4 % de la masse totale des PM.

La masse indéterminée

Le reste de la composition des PM est souvent d'origine indéterminée. Cette partie peut constituer entre 10 à 30 % (voire même plus) de la masse des PM.

2.3.3. Résultats

a) Problèmes techniques

Suite à un important problème technique non détecté, les résultats sont indisponibles du 27 février au 13 août sur le site de Drôme Provençale. A partir du 1^{er} octobre, 2 prélèvements journaliers consécutifs par semaine ont été réalisés jusqu'à la fin de l'année 2012.

b) Evolution EC/OC

La figure suivante présente l'évolution du carbone élémentaire et du carbone organique d'août à décembre sur le site Drôme Provençale. Les concentrations de carbone élémentaire sont très faibles sur ce site rural. En moyenne, le carbone élémentaire représente 5 à 10% de la masse des PM_{2,5}. Sur ce site, il représente seulement de 0,7 à 3,3% de la masse des PM_{2,5} (1,5% en moyenne).

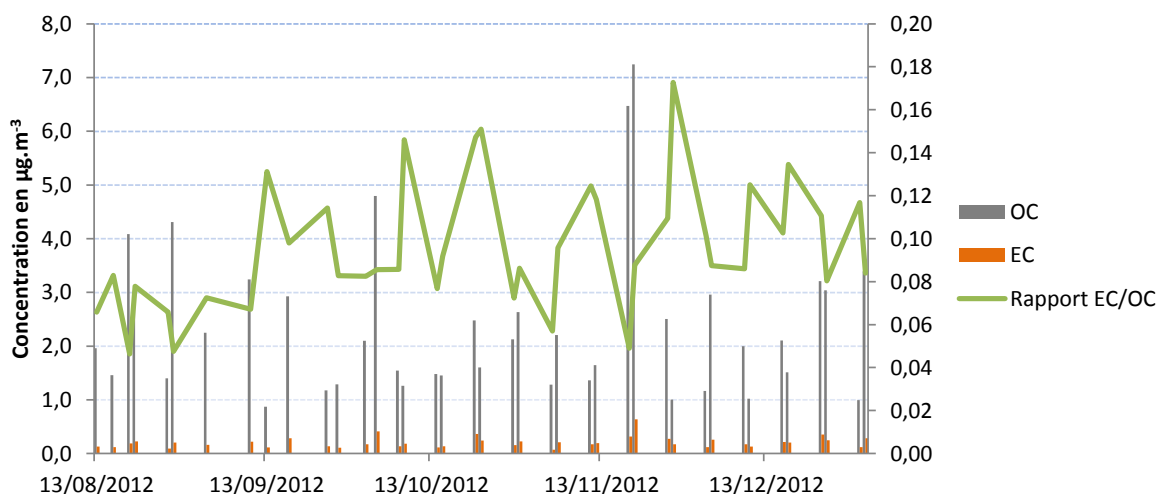


FIGURE 17 EVOLUTION DU CARBONE ELEMENTAIRE ET DU CARBONE ORGANIQUE SUR LA STATION RURALE DE DROME PROVENÇALE

Les concentrations les plus élevées en carbone organique et carbone élémentaire (sur la période) ont été relevées les 18 et 19 novembre 2012. A ces dates, la région Rhône-Alpes a connu un important épisode de pollution aux PM₁₀ qui a touché plusieurs secteurs de la région du 14 au 24 novembre en lien avec des conditions peu dispersives.

Le rapport EC/OC est beaucoup plus faible sur ce site par rapport à la station urbaine de Lyon Centre (cf. Figure 18).

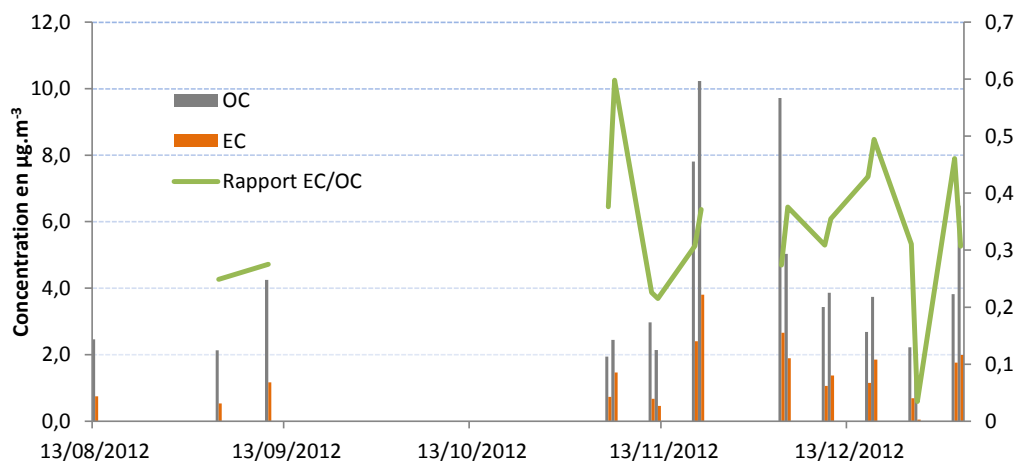


FIGURE 18 EVOLUTION DU CARBONE ELEMENTAIRE ET DU CARBONE ORGANIQUE SUR LA STATION URBAINE DE LYON CENTRE

Sur la période de mesure, la masse carbonée représente en moyenne 25 % de la masse totale des PM_{2,5} (mesurée par TEOM-FDMS). Certains jours, et notamment lors de l'épisode de pollution de novembre, cette part est supérieure à 50% (cf. Figure 19).

Sur les sites ruraux sondés par AIRPARIF en Ile de France, la part des composés carbonés représente 40% de la masse totale des PM_{2,5}.

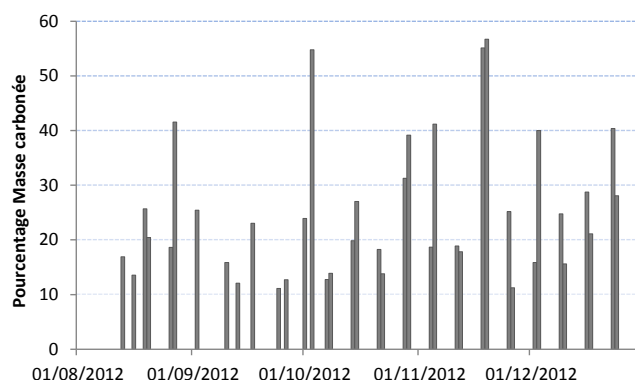


FIGURE 19 POURCENTAGE DE COMPOSES CARBONES DANS LA MASSE TOTALE DES PM_{2,5}

Les concentrations de carbone élémentaire sont très faibles sur le site rural de Drôme Provençale, elles ne sont pas corrélées avec les concentrations de Lyon Centre qui traduisent bien l'influence urbaine (cf. Figure 20).

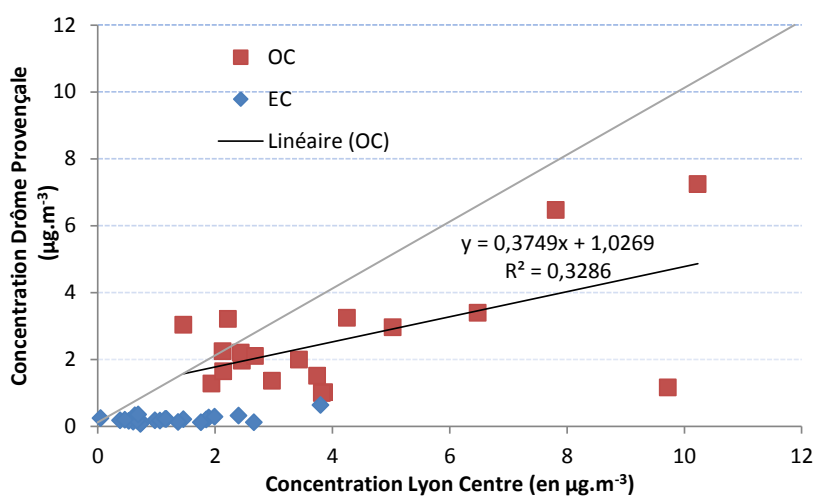


FIGURE 20 CONCENTRATIONS EC/OC SUR DROME PROVENÇALE EN FONCTION DES CONCENTRATIONS DE LYON CENTRE

c) Composition chimique

Sur le site de Drôme Provençale, le laboratoire d'analyse fournit les concentrations en EC, OC, NH₄⁺, NO₃⁻, Na⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, K⁺, Mg²⁺. L'information est donc plus complète qu'avec l'analyseur installé à Lyon Centre.

La concentration des particules peut ensuite être recalculée à partir des analyses chimiques selon la formule suivante :

$$\text{Concentration}_{\text{chem}} = \text{EC} + \text{OM} + [\text{NH}_4^+] + [\text{NO}_3^-] + [\text{nss SO}_4^{2-}] + [\text{nss K}^+] + [\text{sels marins}] + [\text{poussières minérales}]$$

Avec $[\text{nss SO}_4^{2-}]$ (sulfate non marin) = $[\text{SO}_4^{2-}] - 0,252 [\text{Na}^+]$,
 $[\text{nss K}^+] = [\text{K}^+] - 0,037 [\text{Na}^+]$,
 [sels marins] = $[\text{Na}^+] + [\text{Cl}^-] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{ss SO}_4^{2-}] + [\text{ss K}^+] + [\text{ss Ca}^{2+}]$,
 [poussières minérales] = $[\text{nss Ca}^{2+}] / 0,15$

La concentration ainsi reconstituée doit être assez proche de la concentration mesurée (fermeture chimique). Sur le site de Drôme Provençale, cette comparaison met en évidence une différence importante. Ces éléments confirment une probable surestimation des valeurs par l'appareil TEOM-FDMS sur ce site.

L'analyse de la composition chimique (cf. figure 21) fait apparaître une part plus importante des nitrates en début d'année (février). Le nitrate d'ammonium résulte de la combinaison des oxydes d'azote (majoritairement émis par le trafic) et de l'ammoniac (émis par les activités agricoles d'épandage d'engrais). Le nitrate d'ammonium est souvent mis en cause dans les épisodes de pollution printaniers.

Sur ce site au sud de la région, on peut noter qu'il n'y a pas d'influence des sels marins. Le 10 septembre, la part de sulfates est plus importante, il s'agit probablement d'une influence industrielle ponctuelle.

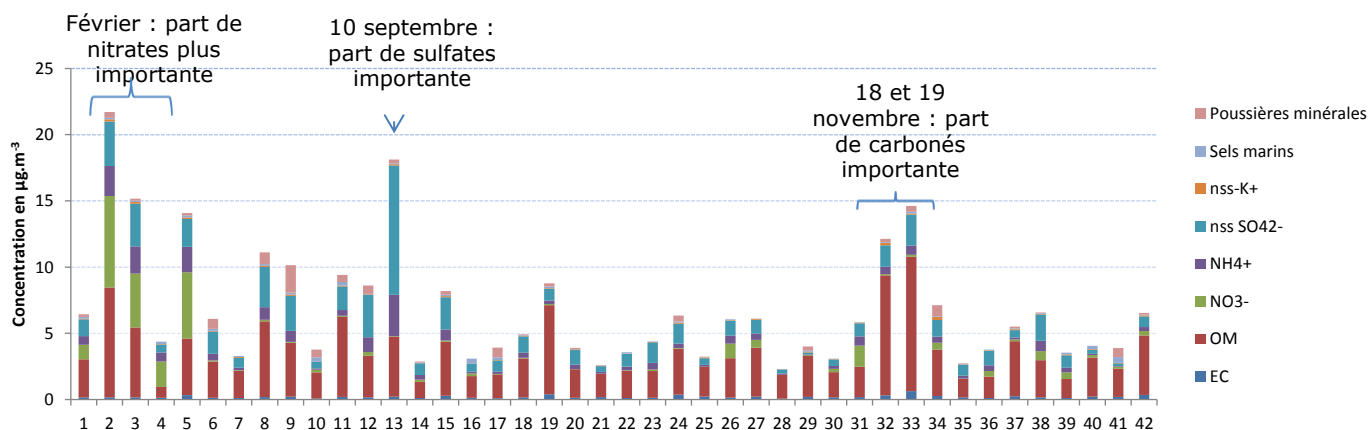


FIGURE 21 COMPOSITION DES PM2,5 SUR LE SITE DE DROME PROVENÇALE

L'analyse de la composition chimique est un élément important pour documenter les contributions des différentes sources à la concentration finale de particules PM2,5. L'absence de données pendant une longue période ne permet pas de faire l'analyse de la variation annuelle même si on peut déjà voir l'influence printanière des nitrates. La poursuite des mesures en 2013 permettra de mieux documenter cet aspect.

3. Modélisation

3.1. Méthodologie

Deux modèles dédiés à la qualité de l'air ont été utilisés pour élaborer la cartographie modélisée des poussières PM_{2,5}.

La première modélisation PREVALP permet de mesurer les concentrations à l'échelle de la région à une résolution de 1km.

La seconde, SIRANE, permet une modélisation fine échelle au niveau des rues sur les grandes agglomérations à une résolution de 10 mètres.

Une méthode composite des 2 modélisations a été développée afin de combiner les deux modèles à une résolution de 250 mètres sur l'ensemble de la région.

3.1.1. Présentation du modèle PREVALP

Depuis 2006, PREVALP est utilisée par l'observatoire de l'air de Rhône-Alpes pour la surveillance par modélisation de la région. La plateforme régionale permet de calculer des concentrations horaires en divers polluants réglementés (ozone, oxydes d'azote, PM₁₀, PM_{2,5}) en tout point du territoire. Cette modélisation est basée sur une modélisation en 3 dimensions de la météorologie et des émissions de polluants.

Le calcul météorologique est réalisé depuis 2008 avec le modèle WRF (*Weather and Research Forecast*) du NCAR. WRF calcule la météorologie sur les différents domaines et alimente ensuite le modèle CHIMERE.

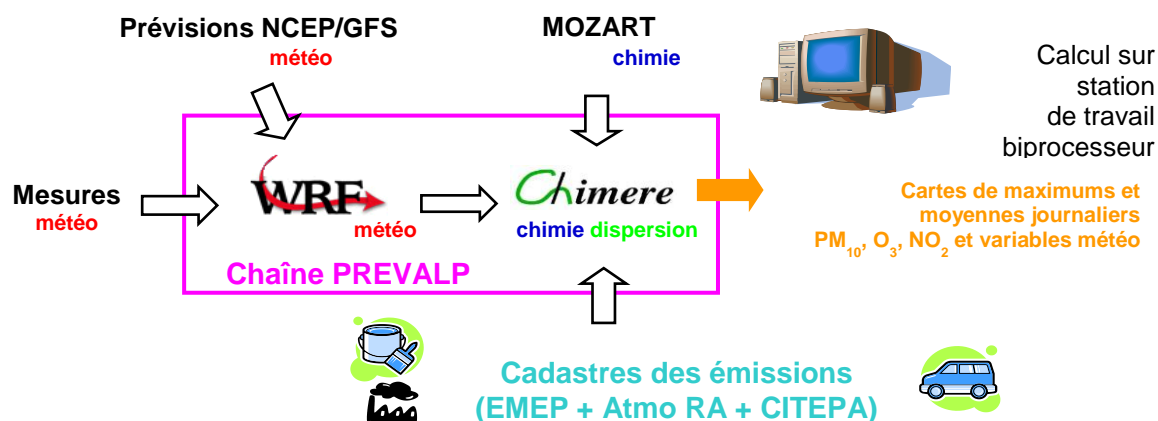


FIGURE 22 : ARTICULATION ENTRE LES DIFFERENTS COMPOSANTS DE LA CHAINE DE MODELES

Le modèle CHIMERE est un modèle de chimie-transport issu de la recherche et développé à l'IPSL (Institut Pierre-Simon LAPLACE) à Paris. Ce modèle prend en compte, entre autre, les émissions de la zone étudiée et regroupe différents modules traitant du transport, de la dispersion, des réactions chimiques dans l'atmosphère, de la déposition humide et sèche et de la physique des particules.

La pollution de fond ainsi calculée est représentative des émissions provenant du trafic à l'extérieur de la zone ou d'autres sources de pollution complémentaires au trafic automobile (chauffage, industrie, agriculture...). Pour les représenter, nous avons utilisé les simulations méso échelles PREVALP de l'année 2012 dans lesquelles les mesures des capteurs du réseau d'Air Rhône-Alpes au cours de cette même année ont été assimilées.

3.1.2. Hypothèses de calcul de la chaîne PREVALP

Domaine

Le calcul de modélisation a été effectué sur l'ensemble de la région rhônalpine.

Période simulée

L'ensemble de l'année 2012 a été simulée pour la météorologie et pour le calcul des concentrations en particules fines $PM_{2,5}$.

Météorologie

L'évolution des paramètres décrivant l'atmosphère au cours de l'année 2012, à la résolution de $1 \times 1 \text{ km}^2$, a été calculée sur les champs météorologiques à grande échelle fournis par le NCEP (National Centers for Environmental Prediction).

Adaptation statistique des mesures de fond

L'ensemble des mesures des stations fixes hors stations de proximité ont été adaptées statistiquement en sortie de modèles. Le krigeage³ des mesures par stations fixes a ainsi permis de réajuster les concentrations du modèle sur les 10 mesures de TEOM-FDMS $PM_{2,5}$ de la région.

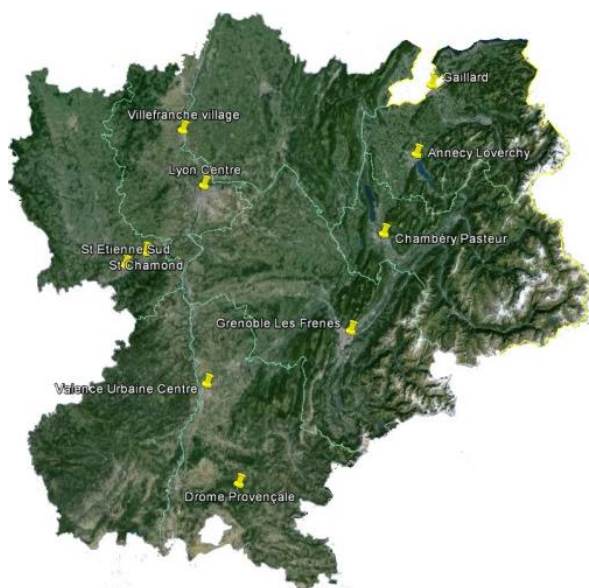


FIGURE 23 : ENSEMBLE DES STATIONS PRISES EN COMPTE DANS LE KRIGEAGE DES MESURES

3.1.3. Présentation du modèle SIRANE

Développé par l'Ecole Centrale de Lyon, le modèle SIRANE est un modèle de dispersion atmosphérique en milieu urbain, adapté à l'échelle de la rue ou d'un quartier. Il permet de décrire les concentrations en polluants dans des zones constituées principalement de rues bordées de bâtiments sous forme de cartographie.

Le modèle SIRANE traite différents types d'émissions à l'aide de sources linéiques (représentant par exemple une voie de circulation) et de sources ponctuelles (par exemple une cheminée).

³ Le krigeage est une méthode d'interpolation spatiale de variables régionalisées.

Le modèle SIRANE permet de prendre en compte les principaux effets qui agissent sur la dispersion des polluants à l'échelle d'un quartier :

- Phénomènes de rue-canyon (confinement des polluants entre les bâtiments)
- Echange des polluants au niveau des carrefours
- Transport des polluants au dessus des toits
- Prise en compte des caractéristiques du vent extérieur (vitesse, direction, turbulence, stabilité thermique)
- Modélisation de transformations chimiques simples (cycle de Chapman NO, NO₂, O₃)

SIRANE utilise des modèles théoriques et des formulations simplifiées des différents phénomènes. Il est donc adapté au traitement d'un grand nombre de rues dans un temps de calcul limité.

3.1.4. Caractéristiques de la simulation SIRANE

Domaines

La modélisation SIRANE est disponible sur les grandes agglomérations rhônalpines : Grand Lyon, Grenoble, Saint-Etienne, Valence, Annemasse, Chambéry, Bourg-en-Bresse, Annecy. La résolution est de 10 m sur la totalité de ces domaines.

Période simulée

L'ensemble de l'année 2012 a été simulée pour le calcul des concentrations en particules fines.

Météorologie

Sirane prend en entrée les données météorologiques des stations fixes mesurées tout au long de l'année 2012.

3.2. Cartographie des résultats

3.2.1. Cartographie

La chaîne de modélisation régionale PREVALP combinée au modèle de rues SIRANE sur les principales agglomérations rhônalpines a permis d'établir une cartographie régionale des PM_{2,5} à une résolution de 250 mètres (cf. Figure 24).

L'échelle choisie pour cette cartographie permet de mettre en évidence les contrastes et variations spatiales des concentrations mais n'est pas représentative des valeurs réglementaires.

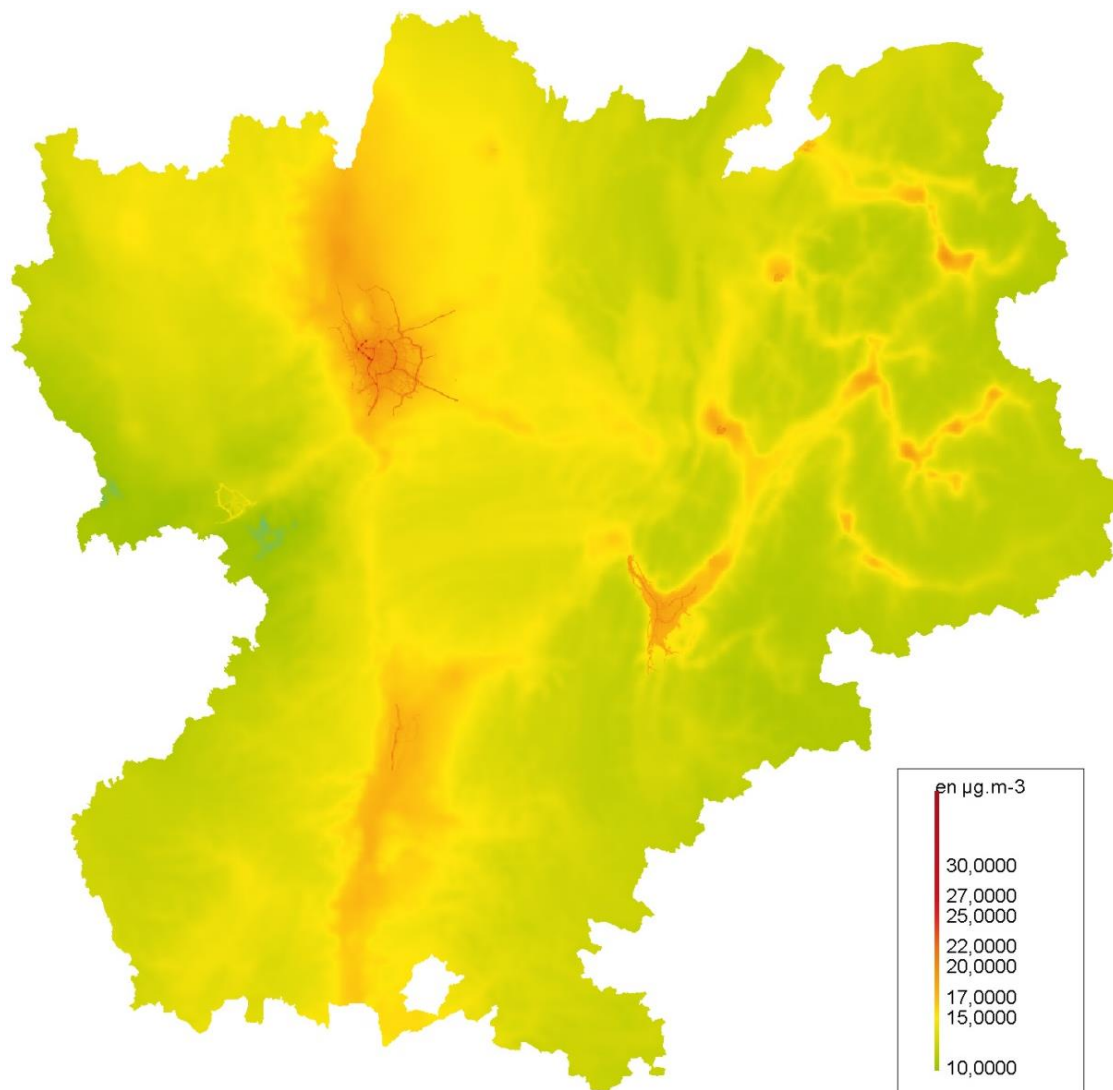


FIGURE 24 : CARTOGRAPHIE DES CONCENTRATIONS PM_{2,5} EN $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

RESOLUTION 250 METRES, METHODE COMPOSITE DE PREVALP 2012v02BETA ET SIRANE

Les zones les plus impactées par les PM_{2,5} restent les agglomérations rhônalpines. Lyon, Grenoble et Chambéry présentent les concentrations les plus élevées. Hors agglomération, aucun dépassement de valeur réglementaire n'est à relever. Les concentrations présentent globalement moins de variabilité spatiale que les PM₁₀. Néanmoins, certaines zones comme les vallées alpines, la vallée du Rhône et le val de Saône présentent des concentrations plus élevées qui peuvent dépasser $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

3.2.2. Comparaison modèle/mesures

Afin de documenter les incertitudes des concentrations modélisées, des comparaisons sont faites avec les données de mesure disponibles.

Le cas de Drôme Provençale

La station Drôme Provençale est la seule station de fond rurale mesurant les PM_{2,5} en continu sur l'ensemble de la région. Cette station fournit donc une information non négligeable pour l'élaboration d'une cartographie régionale, en particulier lors de l'étape de krigeage des mesures.

L'étude spécifique des données dans le cadre de cette étude a montré des niveaux élevés sur cette station, et une invalidation des données est possible pour une grande période de l'année 2012.

Compte tenu de l'importance d'avoir une station rurale pour l'étape de krigeage, les mesures de PM_{2,5} de la station fixe Drôme Provençale ont été estimées à partir des concentrations de PM₁₀ et du facteur 0,7 (station virtuelle). Ce facteur a été estimé à partir du ratio PM₁₀/PM_{2,5} des autres stations disponibles sur la région. Cette méthodologie de travail avec des stations virtuelles a déjà été réalisée dans le cadre du projet d'exposition à la pollution de l'air de la cohorte GAZEL.

Calcul des incertitudes

Le territoire très contrasté de Rhône-Alpes implique une très forte variabilité spatiale de l'incertitude. Cette dernière dépend en effet de plusieurs paramètres aussi bien liés à la méthodologie qu'aux variables locales (variation d'altitude, topographie, influence locale, typologie).

Les 10 stations fixes équipées de capteurs PM_{2,5} permettent de calculer l'écart entre les mesures et les concentrations estimées du modèle. Une incertitude du modèle par rapport à la mesure est donc calculable en ces points de mesure. Pour connaître l'incertitude du modèle en un point de mesure, la modélisation en ce point sans l'apport de la mesure correspondante est comparée à la mesure elle-même (méthode de validation croisée⁴).

Station	Coord X	Coord Y	Incertitude du modèle en %	Typologie
Lyon Centre	644201	5068809	2,7	Urbaine
Villefranche Village	633160	5093978	13,8	Urbaine
Grenoble Les Frênes	715003	5004614	8,3	Urbaine
Saint Etienne Sud	609174	5030572	18,0	Urbaine
Valence urbain centre	649408	4977315	10,4	Urbaine
Chambéry Pasteur	728526	5049844	5,8	Urbaine
Annecy Loverchy	741919	5087149	8,1	Urbaine
Gaillard	748072	5120618	4,8	Urbaine
Drôme provençale (station virtuelle)	666082	4931844	20,7	Rurale
Saint Chamond	618414	5036878	5,8	Urbaine

FIGURE 25 : INCERTITUDE DU MODELE AUX STATIONS DE MESURES CALCULEES PAR VALIDATION CROISEE

Sur l'ensemble des stations de mesures, l'incertitude du modèle pour la moyenne annuelle reste en dessous de 21%. L'incertitude est plus élevée en milieu rural (Station Drôme Provençale). Le modèle a tendance à surestimer les concentrations sur le bassin stéphanois (Station Saint Etienne Sud). L'incertitude globale du modèle, inférieure à 50%, reste conforme à l'objectif qualité de la directive européenne.

⁴ La validation croisée (« *cross-validation* ») est une méthode d'estimation de fiabilité du modèle fondée sur une technique d'échantillonnage : pour un ensemble de N stations, on réalise la carte avec N-1 stations puis on compare le résultat obtenu à la station non utilisée. Cette opération est répétée N fois. Cette technique a été mise en application pour la moyenne annuelle PM_{2,5} de la cartographie 2012. L'incertitude du modèle par validation croisée en une station est calculée par le pourcentage de l'écart entre la valeur modélisée à cette station (moyenne journalière) avec la simulation ne prenant pas en compte la mesure à cet endroit et la mesure.

Validation en milieu rural et altitude

La comparaison entre le modèle et la mesure effectuée sur le Pilat met en évidence une surestimation forte de la chaîne de modélisation en milieu rural et plus particulièrement en altitude (cf. Figure 26). En effet, l'étape d'adaptation statistique des mesures (krigeage) tend à augmenter les estimations en sorties de modélisation. Le milieu rural étant moins bien représenté à cause du manque de station de cette typologie, le krigeage tend à augmenter trop fortement les concentrations en altitude. L'ajout de stations virtuelles (dont les concentrations ne sont pas mesurées mais estimées) en altitude et en milieu rural à l'étape de krigeage est une piste d'amélioration pouvant combler ce manque de stations de mesures. Des campagnes de mesures en continu pourront par ailleurs être mises en place pour sonder certaines zones et paramétrer ainsi statiquement les futures stations virtuelles.

Par ailleurs, la méthode de mesure de la concentration par gravimétrie peut aussi expliquer une perte de la masse, expliquant partiellement ce résultat. En effet, il est probable qu'une perte de masse des composés volatils intervienne entre la mesure et la pesée.

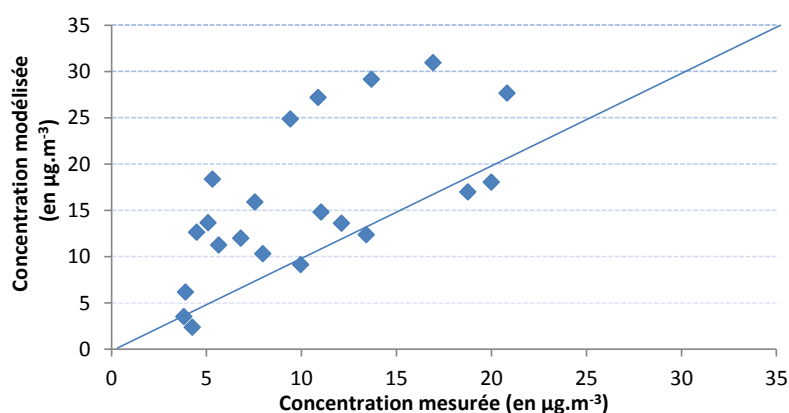


FIGURE 26 : COMPARAISON ENTRE LA MODELISATION ET LES MESURES PAR GRAVIMETRIE SUR LE SITE DU PILAT

Validation en proximité routière

Afin d'évaluer la qualité de la modélisation à fine échelle sur les agglomérations, le modèle fine échelle SIRANE peut être comparé aux mesures effectuées en proximité automobile.

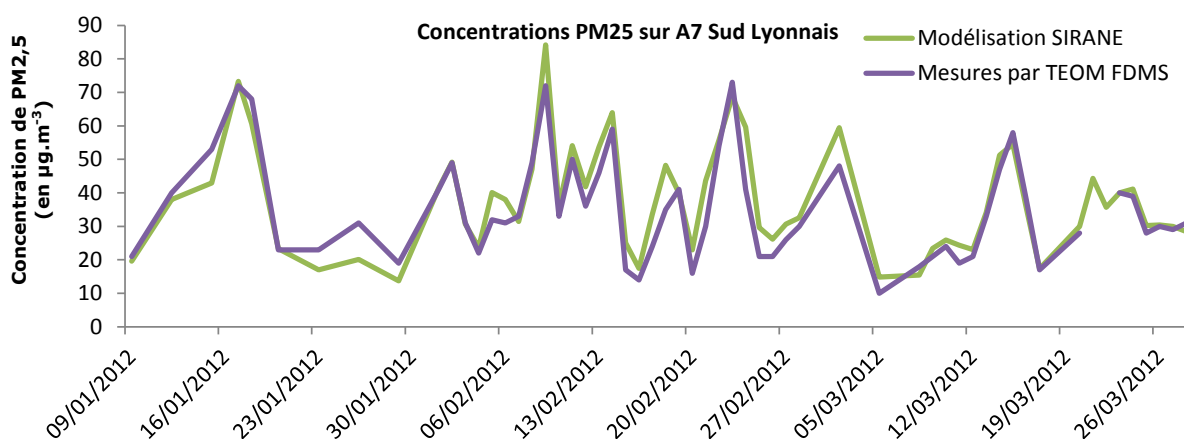


FIGURE 27 : COMPARAISON ENTRE LA MODELISATION SIRANE ET LES MESURES TEOM FDMS SUR LE SITE DE A7 SUD LYONNAIS

Annexes

ANNEXE 1 : Principe de fonctionnement Sunset Laboratory

1. **Aspiration de l'air ambiant** par une pompe au travers d'un dénudeur d'organiques (pour éliminer les composés organiques contenus dans l'air) puis au travers du filtre en quartz qui se trouve dans le four (en quartz également).

2. Cycle d'analyse en 3 phases

- 1ère phase : analyse du carbone organique (OC). Chauffage et balayage du four par de l'hélium pur pour désorber les composés organiques.
- 2ème phase : analyse du carbone élémentaire (EC). Chauffage et balayage du four par le mélange hélium/oxygène pour combustion du carbone élémentaire.
- 3ème phase : étalonnage externe par injection du mélange hélium/méthane pour l'EC et d'une solution de sucrose pour l'OC.

Le cycle complet d'analyse (prélèvement + analyse) peut être adapté pour durer pendant un temps déterminé, par exemple pour un cycle d'une heure on peut prélever 48 minutes et faire durer l'analyse 12 minutes.

3. Traitement de l'analyse

Le logiciel de calcul et d'exploitation des analyse rend directement les teneurs en carbone organique et en carbone élémentaire sans besoin de traitement manuel des données analytiques brutes.

Table des illustrations

FIGURE 1 CONTRIBUTION DES DIFFERENTS SECTEURS D'ACTIVITE AUX EMISSIONS PRIMAIRES DE PM2,5 EN RHONE-ALPES.....	7
FIGURE 2 : CARTOGRAPHIE DES SITES FIXES EQUIPES DE MESURE PM2,5.....	8
FIGURE 3 MOYENNE ANNUELLE 2012 EN PM2,5 SUR LES STATIONS DE SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR DE RHONE-ALPES.....	8
FIGURE 4 EVOLUTION DE LA MOYENNE ANNUELLE EN PM2,5 SUR LES STATIONS TRAFIC ET URBAINE DE LA REGION RHONE-ALPES.....	8
FIGURE 5 : ZONE D'ETUDE DE DECROISSANCE DES PM2,5 AU NIVEAU DE L'A7 ET LOCALISATION DES SITES DE GRAVIMETRIE.....	10
FIGURE 6 : ZONE D'ETUDE DE DECROISSANCE DES PM2,5 AU NIVEAU DE LA ROCADE SUD A GRENoble ET LOCALISATION DES SITES DE GRAVIMETRIE.....	11
FIGURE 7 : COMPARAISON ENTRE LES MESURES PAR ANALYSEURS ET PAR PRELEVEMENTS SUR PARTISOL SUR LE SITE DE LA ROCADE SUD DE GRENoble PENDANT TOUTE LA PERIODE DE MESURE.....	12
FIGURE 8 : MOYENNE DES 4 SITES DE MESURES GRAVIMETRIQUES ET ETUDE DE LA DECROISSANCE.....	12
FIGURE 9 : EVALUATION DE LA DECROISSANCE JOURNALIERE SUR LE SITE LYONNAIS DE L'A7. DIFFERENCE JOURNALIERE ENTRE LES CONCENTRATIONS MESUREES A 5M ET A 110M DU CENTRE DE LA VOIE.....	13
FIGURE 10 : ZOOM SUR LA ZONE D'ETUDE GRENOBLOISE AUX ABORDS DE LA ROCADE ET DU ROND-POINT DU RONDEAU.....	13
FIGURE 11 CONTRIBUTION DES SOURCES AUX CONCENTRATIONS DE PARTICULES (EXTRAIT DE AIRPARIF, 2011).....	14
FIGURE 12 APPAREIL DE MESURES EN PLACE SUR LE SITE PILAT.....	15
FIGURE 13 EVOLUTION DE LA CONCENTRATION JOURNALIERE EN PM2,5 SUR LE SITE PILAT.....	16
FIGURE 14 RATIOS ENTRE LES CONCENTRATIONS MESUREES SUR LE SITE PILAT ET SUR LES SITES LYON CENTRE ET DROME PROVENÇALE.....	16
FIGURE 15 RETRO TRAJECTOIRES SUR LYON LES 1 ^{ER} , 4 FEVRIER ET LE 7 FEVRIER 2012.....	17
FIGURE 16 APPAREIL SUNSET LABORATORY OCEC FIELD ANALYZER ACQUIS PAR COPARLY.....	18
FIGURE 17 EVOLUTION DU CARBONE ELEMENTAIRE ET DU CARBONE ORGANIQUE SUR LA STATION RURALE DE DROME PROVENÇALE.....	19
FIGURE 18 EVOLUTION DU CARBONE ELEMENTAIRE ET DU CARBONE ORGANIQUE SUR LA STATION URBAINE DE LYON CENTRE.....	19
FIGURE 19 POURCENTAGE DE COMPOSES CARBONES DANS LA MASSE TOTALE DES PM2,5.....	20
FIGURE 20 CONCENTRATIONS EC/OC SUR DROME PROVENÇALE EN FONCTION DES CONCENTRATIONS DE LYON CENTRE.....	20
FIGURE 21 COMPOSITION DES PM2,5 SUR LE SITE DE DROME PROVENÇALE.....	21
FIGURE 22 : ARTICULATION ENTRE LES DIFFERENTS COMPOSANTS DE LA CHAINE DE MODELES.....	22
FIGURE 23 : ENSEMBLE DES STATIONS PRISES EN COMPTE DANS LE KRIGEAGE DES MESURES.....	23
FIGURE 24 : CARTOGRAPHIE DES CONCENTRATIONS PM2,5 EN $\mu\text{G}\cdot\text{M}^{-3}$	25
FIGURE 25 : INCERTITUDE DU MODELE AUX STATIONS DE MESURES CALCULEES PAR VALIDATION CROISEE.....	26
FIGURE 26 : COMPARAISON ENTRE LA MODELISATION ET LES MESURES PAR GRAVIMETRIE SUR LE SITE DU PILAT.....	27
FIGURE 27 : COMPARAISON ENTRE LA MODELISATION SIRANE ET LES MESURES TEOM FDMS SUR LE SITE DE A7 SUD LYONNAIS.....	27
FIGURE 28 : COMPARAISON ENTRE LA MODELISATION SIRANE ET LES MESURES TEOM FDMS SUR LE SITE DE GRENoble-ROCADE SUD.....	28

FIGURE 29 : NOMBRE D'HABITANTS EXPOSES A UN DEPASSEMENT EN MOYENNE ANNUELLE DE LA VALEUR 27 $\mu\text{G}\cdot\text{M}^{-3}$ EN PM2,5 (SOURCE SIRANE, ANNEE 2012)..... 29