

Rapport de synthèse



Diffusion : Juin 2015

Siège social : 3 allée des Sorbiers – 69500 BRON

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

contact@air-rhonealpes.fr



Sommaire



1. Contexte.....	4
1.1. La pollution atmosphérique liée aux particules.....	4
1.2. Les enjeux	4
1.3. Objectifs de PART'AERA.....	4
2. Sites expérimentaux de mesures des particules atmosphériques	5
3. Métrologie réglementaire : mesures des concentrations massiques des particules	7
3.1. Evaluation annuelle des PM ₁₀ et PM _{2,5} sur 4 sites du domaine ALCOTRA	7
3.1.1. Méthodes de mesure des particules	7
3.1.2. Résultats.....	8
3.2. Intercomparaison	11
3.2.1. Objectifs de l'intercomparaison	11
3.2.2. Site.....	12
3.2.3. Résultats.....	13
4. Spéciation chimique	14
4.1. Composition chimique globale	14
4.1.1. Résultats	14
4.2. PMF	15
4.2.1. Facteurs et sources.....	16
4.2.2. Particularités des sites de mesure.....	18
4.2.3. Résultats	19
4.2.4. Zoom sur les résultats	21
4.3. Modélisation.....	23
4.3.1. Objectif.....	23
4.3.2. Périodes.....	23
4.3.3. Résultats.....	24
5. Conclusions	29

Résumé



Ce rapport de synthèse est un résumé des actions réalisées lors du projet PARTAERA ALCOTRA.

L'objectif principal de ce projet a été d'approfondir et d'harmoniser les connaissances sur la métrologie et sur l'analyse des origines des particules fines dans l'espace ALCOTRA, dans le but de fournir les informations utiles aux décideurs publics pour cibler et maîtriser les leviers d'actions efficaces pour lutter contre cette pollution.

La zone alpine subit chaque hiver de larges épisodes de pollution de particules, notamment dans les vallées, favorisés par une météorologie et une configuration alpine peu propice à la dispersion.

Ainsi, chaque année, la France et l'Italie observent des dépassements des valeurs réglementaires européennes imposées aux Etats membres.

Dans ce contexte, l'Europe exige des Etats qu'ils mettent en place des plans d'actions efficaces, comme une alternative au contentieux instruit par la cour de justice européenne et pouvant déboucher sur de lourdes amendes.

En outre, ces épisodes de pollution sont aujourd'hui un véritable enjeu de santé publique de part et d'autre de l'arc alpin puisque l'OMS leur attribue près de 350 000 décès anticipés par an.

Le projet PART'AERA a ainsi contribué :

- à des échanges de bonnes pratiques et de compétences, en comparant quantitativement et qualitativement des pratiques nationales en termes de métrologie des particules atmosphériques ;
- à l'identification annuelle des sources d'émissions et une détermination de leurs contributions aux concentrations de PM10 sur 4 sites du territoire ALCOTRA ;
- à fournir des éléments d'appui aux politiques publiques en matière d'aménagement et de développement et du territoire, en diffusant (séminaire, conférences de presse les connaissances acquises pendant les deux années du projet).

1. Contexte

1.1. La pollution atmosphérique liée aux particules

Les particules font partie des principaux polluants de l'air, en zone alpine. Elles sont à l'origine de plus des ¾ des épisodes de pollution chaque année. La France et l'Italie font d'ailleurs l'objet d'un contentieux avec l'Union Européenne pour non-respect des valeurs réglementaires concernant les particules. La pollution de l'air, tous polluants confondus, est aussi une question majeure de santé publique. Elle est classée cancérigène pour l'homme par l'Organisation Mondiale de la Santé.

1.2. Les enjeux

→ Contentieux européen

La France et l'Italie sont deux pays parmi les 17 Etats-membres de l'Union Européenne à faire l'objet d'un contentieux avec l'Europe. Il est dû au non-respect des valeurs limites concernant les particules inférieures à 10 micromètres (PM10) et à une application insuffisante des plans relatifs à l'amélioration de la qualité de l'air.

La France comme l'Italie pourrait être assujettie à des amendes conséquentes si les plans d'actions mis en place ne permettent pas de respecter rapidement les valeurs réglementaires.

→ Enjeux sanitaires

La taille des particules a une incidence directe sur ses effets pour la santé. Plus les particules sont petites, plus elles pénètrent profondément dans l'arbre pulmonaire. Les plus grosses sont arrêtées puis éliminées au niveau du nez et des voies respiratoires supérieures. L'impact sanitaire des particules en suspension a été démontré dans certaines atteintes fonctionnelles respiratoires, le déclenchement de crises d'asthme et la hausse du nombre de décès pour cause cardio-vasculaire ou respiratoire, notamment chez les sujets sensibles (bronchites chroniques, asthme...). Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes.

→ Effets sur les bâtiments et l'environnement

Les effets de salissure des bâtiments et des monuments sont les atteintes à l'environnement les plus visibles. Le coût économique induit par leur remise en état (nettoyage, ravalement) est considérable. Ces particules ont également des effets sur la végétation : accumulées sur les feuilles des végétaux, elles peuvent entraver la photosynthèse.

Selon leur nature, les particules sont également impliquées dans les processus de changement climatique.

1.3. Objectifs de PART'AERA

Si les sources des particules sont plutôt bien identifiées, une grande lacune existe sur la part de contribution à la pollution des différentes sources. Cette méconnaissance freine l'harmonisation des politiques et des plans de gestion communs et transfrontaliers, sur le long terme mais aussi lors des pics de pollution. Elle est aggravée par le fait que les pratiques météorologiques en France et en Italie sont différentes et donc difficilement comparables. A ce jour, il n'existe pas d'intercomparaison des méthodes météorologiques franco-italiennes dans la mesure des particules atmosphériques. Un des objectifs du projet est ainsi de comparer sur chaque site, les résultats obtenus par les méthodes transfrontalières de mesures en continu avec la méthode européenne de référence.

Un deuxième objectif de ce projet est d'effectuer une intercomparaison des mesures de gravimétrie entre partenaires, en effectuant une campagne de mesure sur une période définie sur un même site

de mesure. Après avoir comparé les méthodes de mesures transfrontalières des PM et après les avoir mis en relation avec la méthode européenne de référence, le but a été d'analyser la composition chimique des particules, permettant de remonter aux sources de la pollution, les éléments chimiques étant utilisés comme traceur. En effet, une identification des sources d'émissions et une détermination de leurs contributions à la pollution aux particules constitue l'un des objectifs généraux de cette étude. Cette identification est fondamentale pour fournir aux décideurs politiques des éléments sur les leviers d'action à mettre en œuvre pour pouvoir améliorer la qualité de l'air.

2. Sites expérimentaux de mesures des particules atmosphériques

Chacune des 4 régions concernées par le projet PART'AERA (Rhône-Alpes, Provence Alpes Côte d'Azur, Piémont et Ligurie) a été dotée d'une station annuelle et permanente de mesure de la qualité de l'air. Ces stations ont été gérées techniquement par :

- en Rhône-Alpes : Air Rhône-Alpes,
- en Provence Alpes Côte d'Azur : Air PACA,
- au Piémont : ARPA Piémont,
- en Ligurie : ARPA Ligurie.

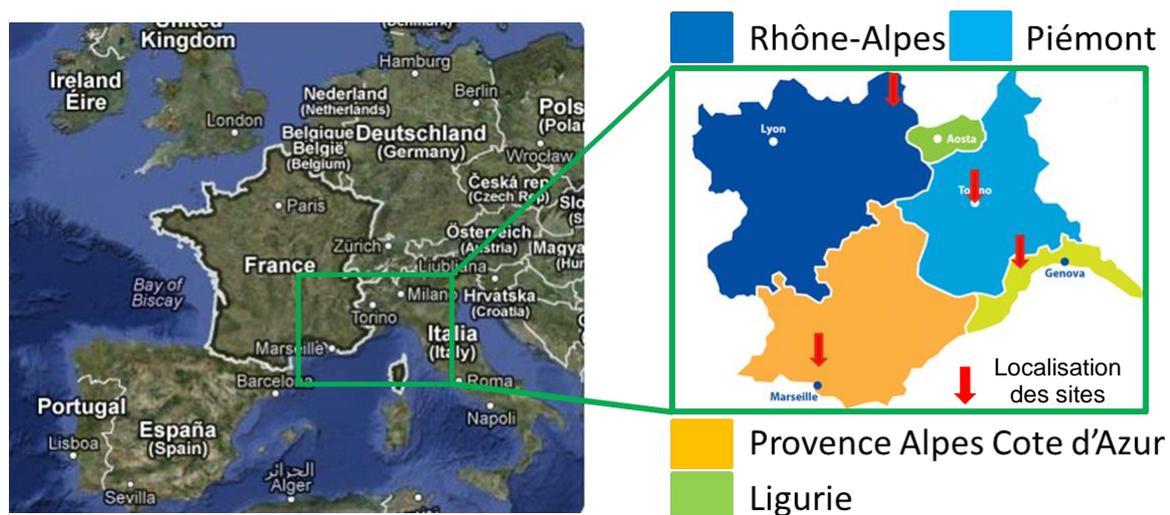


FIGURE 1 LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES SITES DE MESURES

Le site de mesure choisi par l'Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) de la région Rhône-Alpes en France est un site de fond urbain représentatif du fond atmosphérique de la vallée de l'Arve. Les problématiques de la qualité de l'air dans cette région sont liées en grande partie à la typologie de cette vallée alpine, que ce soit en termes de mauvaise dispersion des masses d'air ou de contrainte géographique concentrant les activités émettrices de polluants atmosphériques en fond de vallée. Les principales sources de pollution recensées dans les inventaires d'émissions sont essentiellement liées aux activités industrielles, au trafic routier et au chauffage résidentiel majoritairement représenté par la combustion du bois. Le site de mesure se trouve à une altitude de 501 mètres avec une température annuelle moyenne en 2013 enregistrée aux alentours de 10 °C et une pluviométrie de 894 mm, ce qui correspond à ce qui peut être classiquement observé sur ce type de site en vallées alpines.

3. Métrologie réglementaire : mesures des concentrations massiques des particules

Toutes les régions partenaires ont adopté des méthodes alternatives à la méthode de référence, prévue par la directive 2008/50/CE, pour la mesure des PM₁₀ et PM_{2.5}. La technique de référence est lourde du point de vue des ressources humaines. Par conséquent, les régions partenaires ont recours à des méthodes moins coûteuses, pour lesquelles leurs pays ont prouvé l'équivalence. Malgré cette équivalence, les partenaires européens de PART'AERA ont besoin d'une confirmation sur la fiabilité des résultats de ces méthodes alternatives, prenant en compte les spécificités locales de sources de pollution. Ainsi, deux actions distinctes ont pu être mises en place.

Une première campagne de mesure annuelle a été effectuée de juillet 2013 à juillet 2014 sur les 4 sites précédemment décrits (à noter que pour la Ligurie, la période de mesure dans le site a été réduite de Janvier 2014 à juillet 2014).

Elle s'est intéressé à une évaluation annuelle et comparative des concentrations de particules, représentative au sens des indications des Directive Européennes 2008/50/CE. Les mesures ont fonctionné pendant 1 an et ont porté sur :

- La mesure séquentielle des particules PM₁₀ par la méthode de référence gravimétrique, à l'aide d'un filtre par jour.
- La mesure en continu des particules PM₁₀ et PM_{2.5} par une méthode automatique (TEOM FDMS ou jauge Béta), au pas de temps horaire.

Une deuxième campagne de mesure a porté sur une intercomparaison entre partenaires des mesures de particules PM₁₀ par méthode gravimétrique. Cette campagne a duré un mois, en septembre 2014, tous les partenaires se sont retrouvés, avec leurs propres appareils et méthodes, mais cette fois-ci sur un seul et même site à Marseille 5 avenues.

3.1. Evaluation annuelle des PM₁₀ et PM_{2,5} sur 4 sites du domaine ALCOTRA

3.1.1. Méthodes de mesure des particules

La méthode de référence pour la mesure de la concentration des particules en air ambiant est définie dans la directive 2008/50/CE, elle est pour les PM₁₀ celle décrite dans la norme EN 12341 (1999) : « Qualité de l'air — détermination de la fraction PM₁₀ de matière particulaire en suspension — méthode de référence et procédure d'essai in situ pour démontrer l'équivalence à la référence de méthodes de mesurage » et pour les PM_{2.5} celle décrite dans la norme EN 14907 (2005) : « Méthode de mesurage gravimétrique de référence pour la détermination de la fraction massique PM_{2,5} de matière particulaire en suspension ». La méthode de mesure de référence est communément appelée méthode gravimétrique.

La directive précise par ailleurs que, dans le cas des particules, « les États membres peuvent utiliser [...] toute autre méthode dont L'État membre concerné peut prouver qu'elle présente un rapport constant avec la méthode de référence. Dans ce cas, les résultats obtenus par la méthode doivent être corrigés pour produire des résultats équivalents à ceux qui auraient été obtenus en utilisant la méthode de référence. »

Ainsi, la France a fait le choix d'une utilisation importante de la méthode fondée sur la vibration d'une microbalance à quartz (TEOM), corrigée par la mesure de la fraction volatile par FDMS. La

certification d'équivalence est mise en œuvre par le Laboratoire National des Associations pour la Surveillance de la Qualité de l'Air.

L'Italie, quant à elle, s'est orientée vers un appareil à absorption de rayonnement (Jauge Beta, SWAM). La certification a été apportée par TUV Rheinland Energie und Umwelt GmbH – Laboratoire agréé selon les démarches établies par la norme EN ISO/IEC 17025.

A noter que la méthode de gravimétrie est plus développée en Italie. Les partenaires italiens l'utilisent depuis plusieurs années, bien avant le démarrage du projet PART'AERA, tandis qu'en France, les partenaires ont dû s'équiper de laboratoires de gravimétrie pour effectuer les pesées.

Air Rhône-Alpes a équipé son laboratoire d'un système de pesée selon la norme en vigueur au début de projet et a établi une convention avec Air PACA pour prendre en charge les pesées de ce partenaire.

Un important travail d'échanges techniques a permis, en particulier aux partenaires français, de s'approprier des techniques de mesure de gravimétrie, de manière à mettre en œuvre au mieux les installations du laboratoire de pesée.

Pour répondre aux objectifs du projet, le suivi des concentrations massiques de PM₁₀, pendant une année, dans les régions de l'espace ALCOTRA, a été mis en œuvre selon deux méthodes différentes:

- Tous les partenaires du projet ont mis en œuvre la méthode de référence par mesure gravimétrique (par prélèvement journaliers sur filtres puis pesée des filtres (avant et après) en laboratoire).
- Chaque partenaire a également géré en continu sur son site ses appareils classiquement utilisés, pour lesquels chaque pays a démontré l'équivalence. Il s'agit de TEOM 1400AB + FDMS 8500C pour Air PACA et Air Rhône-Alpes, et d'appareils à absorption de rayonnement JAUGE BETA (SWAM 5A DUAL CHANNEL) pour Arpa Piemonte et Arpa Liguria..

3.1.2. Résultats

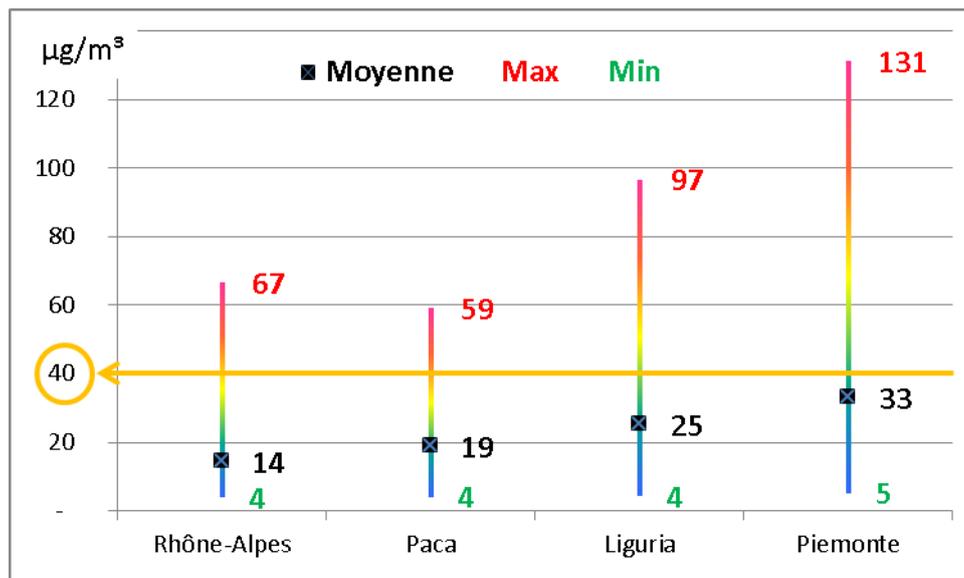


FIGURE 2 VALEURS DES MESURES DE GRAVIMETRIE DES CONCENTRATIONS DES PM₁₀ POUR LES 4 SITES DE MESURE

La Figure 2 montre que pour tous les sites, les valeurs de moyenne annuelle de concentration des PM₁₀ par gravimétrie n'atteignent pas la valeur limite annuelle de 40 µg/m³, aussi bien en milieu urbain qu'en milieu moins urbanisé. **La réglementation européenne est donc respectée sur les quatre sites, sur l'année de mesure, pour la valeur limite annuelle de 40 µg/m³.**

Le site urbain du Piémont enregistre des valeurs plus élevées par rapport aux autres sites, qui sont en situation de fond urbain ou rurale. Les valeurs maximales confirment que des épisodes de pollution sont bien présents dans chaque site, de manière plus ou moins importante selon les sites.

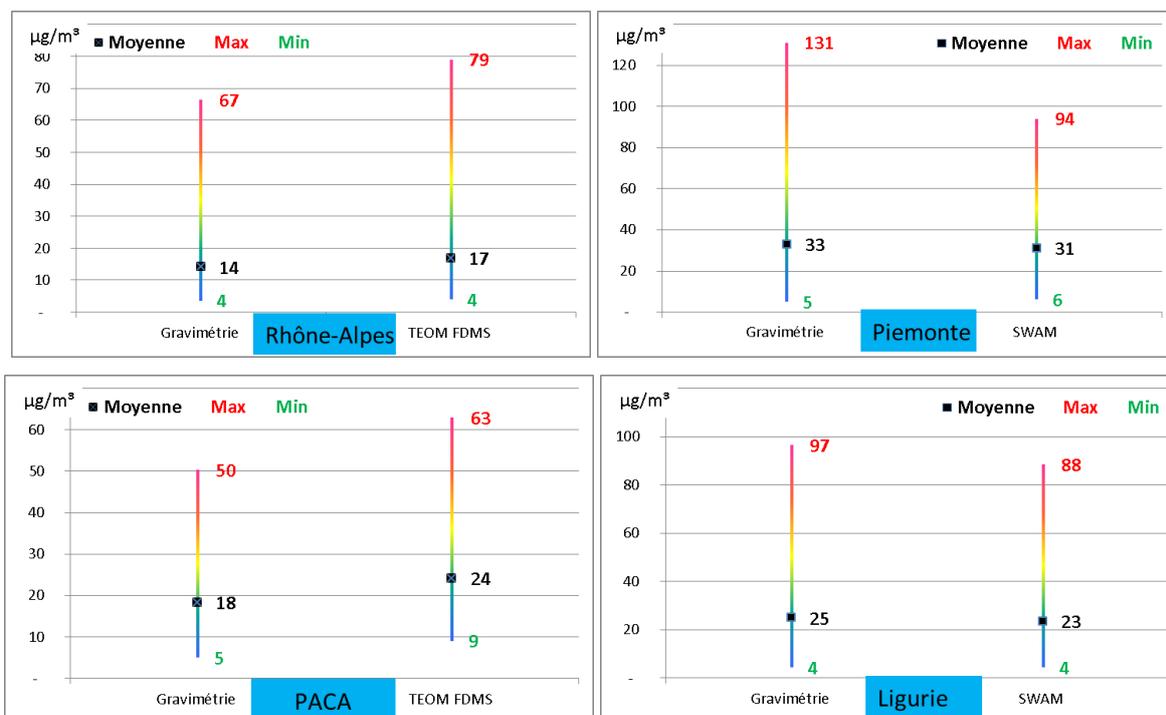


FIGURE 3 VALEURS MAX, MOYENNES ET MIN DES MESURES DE GRAVIMÉTRIE ET TEOM FDMS EN RHÔNE-ALPES (À GAUCHE) ET SWAM (À DROITE) EN PIÉMONT

La Figure 3 à gauche et le

	Moyenne µg/m ³		Max µg/m ³		Min µg/m ³		Nb dépassements (>50) µg/m ³		Ecart moyen µg/m ³	Ecart (%)
	Grav	Auto	Grav.	Auto	Grav	Auto	Grav	Auto.		
LIGURIA	25	23	97	88	4	5	15	14	-1,50	-8%
PIEMONTE	33	31	131	94	5	6	68	42	-0,22	-6%
AIR RHÔNE-ALPES	14	17	67	79	4	4	5	7	2,96	21%
AIR PACA	19	23	59	68	4	5	4	10	0,31	21%

Tableau 2, montrent que les concentrations issues de l'approche automatique utilisant des appareils TEOM-FDMS (Rhône-Alpes et PACA) sont systématiquement plus fortes que celles issues de la pesée au même site. Elles affichent un écart de 25 à 31 % par rapport à l'approche gravimétrique. Pour le

site Rhône-Alpes 5 dépassements sur 7 sont confirmés par la méthode de référence. En PACA seuls 4 dépassements sur 10 sont confirmés par la gravimétrie.

Ces résultats montrent les TEOM FDMS ont tendance à **surestimer** les concentrations en PM10 par rapport à celles issues de la gravimétrie.

Ce résultat global est dû principalement au fait que les TEOM FDMS mesurent aussi la partie volatile des particules, qui n'est pas prise en compte par la gravimétrie.

A l'inverse, les concentrations issues de la mesure automatique par Jauge Beta (Piemont et Ligurie) semblent plus proches des concentrations issues de l'approche gravimétrique. Une légère sous-estimation est observée pour le site automatique Ligure. Pour ce dernier, 15 dépassements sont enregistrés avec la gravimétrie contre 14 pour la mesure automatique. L'écart Jauge Béta versus gravimétrie est de -7%. Pour le site Piemontais, ces résultats sont confirmés. 68 dépassements sont enregistrés avec la gravimétrie contre 42 pour la mesure automatique. L'écart moyen Jauge Béta versus gravimétrie est de -6%.

	Moyenne µg/m ³		Max µg/m ³		Min µg/m ³		Nb dépassements (>50) µg/m ³		Ecart moyen µg/m ³	Ecart (%)
	Grav	Auto	Grav.	Auto	Grav	Auto	Grav	Auto.	Auto.- Grav	Auto/Grav
LIGURIA	25	23	97	88	4	5	15	14	-1,50	-8%
PIEMONTE	33	31	131	94	5	6	68	42	-0,22	-6%
AIR RHÔNE- ALPES	14	17	67	79	4	4	5	7	2,96	21%
AIR PACA	19	23	59	68	4	5	4	10	0,31	21%

Tableau 2 Résultats de la campagne de mesure d'un an (concentrations issues de la mesure automatique en continu et de la gravimétrie).

Gravimétrie / TEOM FDMS

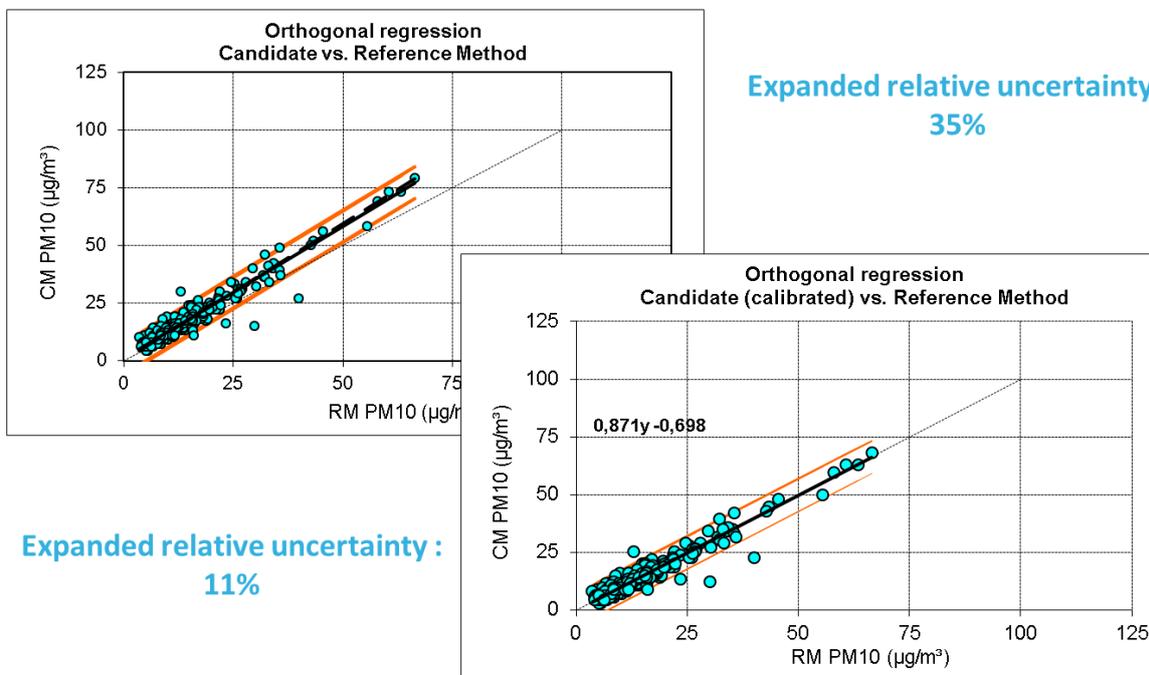


FIGURE 4 CORRELATION ENTRE LES VALEURS DES CONCENTRATIONS DE PM10 DE GRAVIMÉTRIE (RM : METHODE DE REFERENCE) ET DE TEOM FDMS (CM : METHODE COMPARATIF)

La corrélation des concentrations journalières entre l'approche automatique TEOM FDMS et approche gravimétrique sur le site Rhône-Alpin est satisfaisante : 0.92. Celle du site d'Air PACA est de 0.91. Il est toutefois possible de tester l'incertitude relative du TEOM/FDMS par rapport à la gravimétrie, à mettre en évidence les concentrations supérieures ou égales à la valeur limite journalière : 50 µg/m³

Dans le cas du site d'Air Rhône-Alpes comme celui d'Air PACA, cette incertitude relative est évaluée à 35%. Il est toutefois possible de la corriger à 11% en effectuant une régression orthogonale (figure ci-dessous).

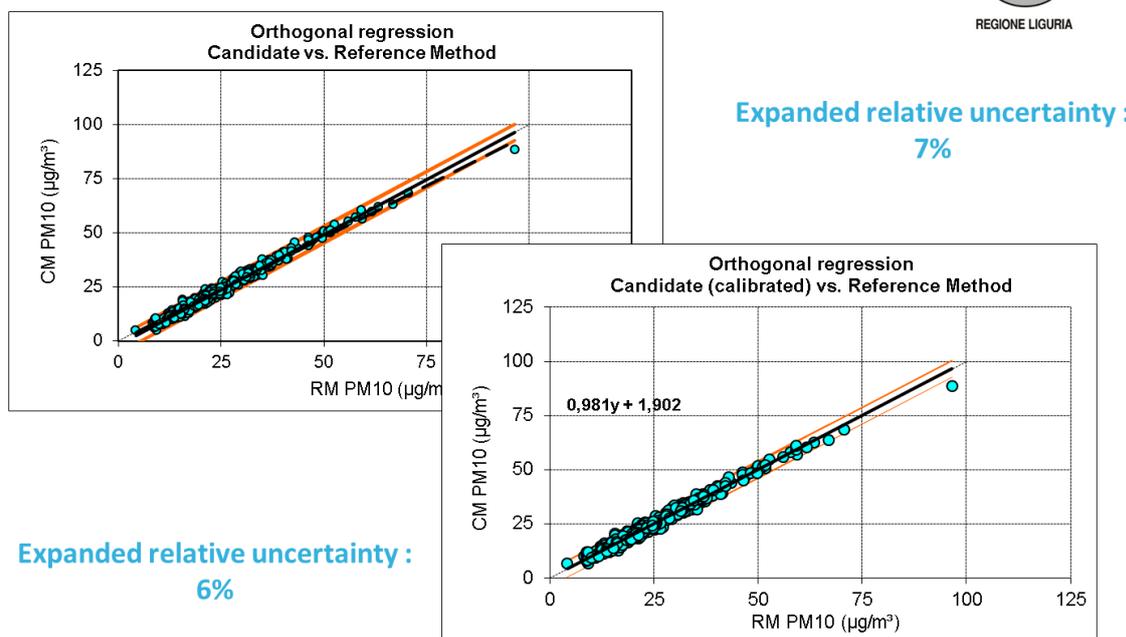


FIGURE 5 CORRELATION ENTRE LES VALEURS DES CONCENTRATIONS DE PM10 DE GRAVIMÉTRIE (CM : METHODE DE REFERENCE) ET DE SWAM (JAUGE BETA) (CM : METHODE COMPARATIF)

La corrélation des concentrations journalières entre l'approche automatique Jauge Béta (SWAM) et approche gravimétrique sur le site Piémontais est satisfaisante : 0.96. Celle du site d'Arpa Liguria est de 0.98. Il est toutefois possible de tester l'incertitude relative du SWAM par rapport à la gravimétrie, à mettre en évidence les concentrations supérieures ou égales à la valeur limite journalière : $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Dans le cas du site d'Arpa Liguria cette incertitude relative est évaluée à 7%. Il est toutefois possible de la corriger à 6% en effectuant une régression orthogonale (figure ci-dessous).

Dans le cas du site d'Arpa Piemonte cette incertitude relative est évaluée à 20%. Il est toutefois possible de la corriger à 17% en effectuant une régression orthogonale.

3.2. Intercomparaison

3.2.1. Objectifs de l'intercomparaison

Dans le cadre du projet PART'AERA, des mesures de concentrations de particules PM10 ont été réalisées simultanément au moyen de préleveurs puis de pesées sur un pas de temps journalier sur 4 sites distincts en région Ligurie, PACA, Piémont et Rhône Alpes (Action 3 du projet).

Afin de valider la comparabilité des résultats, il a été convenu de réaliser en un lieu unique une mise en parallèle des moyens de prélèvements utilisés pendant un mois et de comparer les résultats obtenus en conservant les procédures de chaque utilisateur et les laboratoires de pesées de chaque utilisateur.

L'exercice a permis de vérifier si les concentrations mesurées, dans le cadre de la surveillance réglementaire en Italie et en France, sont comparables.

Dans le cadre de l'exercice d'intercomparaison proposée nous n'abordons pas la comparaison entre méthode automatique (analyseur en continu) et méthode par pesée gravimétrique.

4. Spéciation chimique

Afin de caractériser la composition chimique des aérosols, permettant ainsi d'identifier les sources principales de pollution aux particules, le laboratoire spécialisé du CNRS, le LGGE (Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement) avec le LCME (Laboratoire chimie moléculaire et environnement), ont été sélectionnés comme partenaires scientifiques. Les analyses des prélèvements effectués par ces laboratoires ont permis la quantification :

- De la matière carbonée (carbone organique et carbone élémentaire),
- D'espèces ioniques (anions et cations),
- De métaux et éléments traces,
- D'une large gamme de composés organiques (sucres, polyols, HAP, HAPS, hydrocarbures).

Ces espèces chimiques constituent des signatures chimiques et elles peuvent être identifiées dans la littérature comme traceurs de plusieurs sources anthropiques et/ou biogéniques. L'ensemble des sources et leurs marqueurs associés sont résumés, de manière générale, ci-dessous :

- Combustion de la biomasse : Levoglucosan, Mannosan, Galactosan, OC, K, Rb et HAP
- Feux de Forêts : K, Ca, Fe, Ti et Zn, EC et OC
- Trafic routier : EC/OC>1, Al, Fe, Ba, Ag, Ca, Zn et Sb
- Terrigène : Si, Al, Fe, Ca, Ti, Na, k et Mg
- Marine : Cl, Na, Mg, MSA et HULIS
- Biogéniques : Arabitol, Sorbitol et Mannitol, OC
- et aérosols organiques secondaires (AOS)

4.1. Composition chimique globale

D'une façon générale, la composition chimique globale des PM peut être divisée en trois grandes composantes : la matière carbonée, les espèces ioniques, et une composante métallique et éléments traces. Ces trois fractions permettent de réaliser un bilan chimique global des PM en introduisant des premières notions de type de source.

L'ensemble des résultats des analyses chimiques des filtres prélevés pendant la campagne de mesure du projet PARTAERA sont consultables dans le rapport technique du partenaire scientifique (laboratoires LGGE / LCME).

4.1.1. Résultats

Les composés majoritaires classiquement identifiés sur tous les sites d'étude sont : la matière organique (OM), les sulfates et les nitrates (Figure 8Figure 8). Ces 3 espèces représentent entre 63% et 73% de la masse totale des PM.

On notera par ailleurs, une contribution importante de l'OM (58%) sur le site d'**Air Rhône-Alpes** situé dans la région alpine. Cette proportion importante de l'OM dans les PM prélevées en vallées alpines est couramment rencontrée sur ces types de sites en raison de l'impact important de la combustion du bois. Comme mentionné dans l'introduction de ce chapitre, le lévoglucosan est un traceur organique univoque de la combustion de la biomasse, qui montre une colinéarité importante avec l'OM. Les valeurs mesurées sont plus élevées (facteur 2) pour les sites de mesures en proximité des zones alpines (Air Rhône-Alpes et Piémont) en comparaison des autres sites en bordure de la

Méditerranée (Air PACA et Ligurie). Les températures hivernales plus basses, couplées à une part importante de combustion du bois pour le chauffage en hiver permettent sans doute d'expliquer ces variabilités fortes entre les différents sites d'étude et de confirmer les hypothèses faites pour l'OM. Les résultats montrent aussi des concentrations plutôt élevées en matière carbonée au Piémont, supérieures d'un facteur de 1,5 pour l'OM et de 2 pour l'EC par rapport aux autres sites.

En revanche, une contribution maximale pour le **nitrate** (22%) est enregistrée sur le **site du Piémont**, de même qu'une contribution importante du sulfate (10%) sur le site d'Air PACA. Par ailleurs, sur le site du Piémont, l'ammonium semble être visiblement associé au nitrate.

Il est à noter que les résultats obtenus en Ligurie sont difficilement comparables aux 3 autres sites car ils ne couvrent pas la même période temporelle sur les différentes saisons.

Les contributions estimées par cette méthode pour les sels de mers sont similaires sur les sites d'Air Rhône-Alpes et du Piémont, alors que les valeurs sont plus importantes (4-8%) sur les sites d'Air PACA et de Ligurie. Ceci est en accord global avec la localisation géographique de ces deux derniers sites localisés à quelques kilomètres de la mer Méditerranée.

En étant un facteur bien défini, la composante crustale représente quant à elle, une contribution non négligeable (9-21%), en particulier sur le site de mesure d'Aix-en-Provence. Cette caractéristique peut être liée soit à des conditions locales (sols à nu, activités de carrières aux alentours, etc) soit à une sécheresse moyenne des sols plus importante sur cette zone.

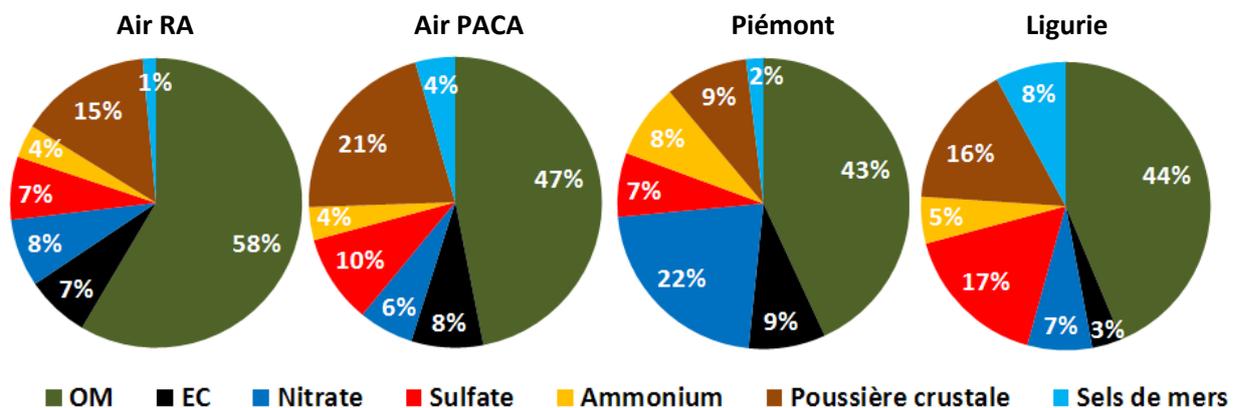


FIGURE 8 BILAN DE MASSE DES PM10 DE JUILLET 2013 A JUILLET 2014 A AIR RA, AIR PACA ET PIEMONTE ET D'AVRIL 2014 A JUILLET 2014 EN LIGURIE

4.2. PMF

La détermination et la quantification des sources des aérosols (PM10) sur les 4 sites de mesure de PART'AERA (Air Rhône-Alpes, Air PACA, Piémont et Ligurie) pendant la campagne de mesure de juillet 2013 à juillet 2014, ont été effectuées en utilisant une analyse par composantes principales à l'aide du logiciel PMF (Positive Matrix Factorisation).

Le modèle PMF se base sur une analyse factorielle qui prend en compte l'évolution de la concentration des espèces chimiques mesurées et rassemble ainsi dans un même facteur les fractions des espèces évoluant de la même manière. Chaque facteur peut être attribué à une source en se basant sur les données de la littérature et sur la connaissance géochimique des caractéristiques des sources en termes d'espèces chimiques de chaque site.

L'application de ce modèle ne nécessite pas de connaissance préalable des profils chimiques des sources, mais son application doit être réalisée sur un vaste jeu de données (nombreuses espèces chimiques, incluant en particulier des traceurs et indicateurs des sources majeures) et sur une large série temporelle d'échantillons.

Pour toutes les analyses PMF effectuées, l'espèce PM₁₀ issue des analyses par gravimétrie a été choisie comme variable totale afin de pouvoir déterminer la contribution des sources sur chaque site par rapport aux concentrations de PM.

4.2.1. Facteurs et sources

Pour une meilleure compréhension et interprétation des différents profils de sources par le lecteur, il est nécessaire d'émettre certaines précautions. Le modèle PMF, permet d'identifier les colinéarités internes à la matrice d'entrée, c'est-à-dire qu'il permet de visualiser les espèces constitutives des PM dont les concentrations (ou une partie des concentrations) évoluent de la même manière au cours du temps. **L'hypothèse principale qui en résulte, est que les éléments chimiques ayant une colinéarité forte au cours du temps sont émis par la même source et elles sont donc rassemblées sous un même facteur.**

Des limites peuvent apparaître sur certains sites d'étude qui possèdent des dynamiques atmosphériques particulières (comme de fréquentes inversions de température comme cela peut être le cas en vallées alpines). En effet, les évolutions des concentrations des espèces chimiques peuvent être proches en raison de ces processus atmosphériques et non pas en raison de sources communes ; par principe, la méthode PMF les rangera donc dans un même facteur, introduisant ainsi un élément de confusion. En effet, la dynamique temporelle des espèces chimiques introduites dans le modèle peut posséder une certaine colinéarité en raison de ces processus atmosphériques et non pas en raison de sources communes. Ainsi, si ce phénomène est durable sur une partie de l'année (périodes hivernales), des composés chimiques peuvent être associés dans un même facteur tout en provenant de sources d'émissions différentes. Ceci a déjà été discuté lors de travaux récents et constitue une limite importante de ce modèle. A l'heure actuelle, les recherches continuent afin de tenter de minimiser l'influence de ces colinéarités internes liées à une dynamique atmosphérique spécifique, différente des sources d'émissions. Pour interpréter les données, il est donc primordial de connaître finement les sites d'études, que cela soit en termes de chimie des particules mais aussi de météorologie.

A la fin du processus de résolution du système, certains facteurs présentent un profil chimique qui ne peut pas être clairement identifié avec une source donnée. C'est en particulier le cas pour :

- Des facteurs à dominante « production d'aérosols secondaire »,
- Pour des facteurs présentant visiblement une signature mixte / mélangée,
- Ou pour des facteurs pour lesquels le ou les traceurs ne sont pas clairement reliés à une source selon les connaissances géochimiques actuelles.

Ainsi, les facteurs comportant un important pourcentage de nitrate ou de sulfate souvent associés à l'ammonium, sont attribués à des sources, génériquement appelées dans le milieu des utilisateurs PMF, respectivement « nitrate-rich » et « sulfate-rich ». Ces facteurs sont retrouvés dans la plupart des études de sources de particules réalisées en Europe. Actuellement, ces sources ne sont pas clairement identifiées et peuvent rassembler un certain nombre de sources primaires (agriculture, industries...) et de processus secondaires (formation depuis les précurseurs gazeux).

Dans notre étude, afin de simplifier l'interprétation de ces facteurs qui ne sont pas clairement attribués à des sources, leur dénomination est donc précédée du mot « facteur » et non du mot « source ».

Ainsi, les sorties du modèle PMF appelées facteur « nitrate-rich », facteur « sulfate-rich » ou encore facteur « industriel » rassemblent sous ces appellations les processus secondaires conduisant au nitrate et au sulfate, ou les émissions de type industriel mais pour lesquelles les sources d'émissions industrielles précises sont indéterminées.

A l'inverse, certains facteurs sont clairement attribués à une source ou à un ensemble de sources en raison de la spécificité du traceur chimique présent dans le profil. C'est le cas par exemple pour les polyols et le MSA, traceurs spécifiques respectivement des émissions biogéniques primaires des sols et des émissions biogéniques marines, ou encore pour le lévoglucosan, traceur des émissions de combustion de biomasse.

De manière à trouver une solution optimale basée sur une série de facteurs, il a été nécessaire d'effectuer différents test entre les espèces chimiques, leur corrélation et leurs incertitudes. Une solution optimale composée d'une série de 9 facteurs communs aux 4 sites de mesure, a été trouvée :

- **Facteur « Sulfate-rich »** est principalement représenté par la présence de SO_4^{2-} associé couramment à l'ion NH_4^+ confirmant la présence du sulfate sous la forme de sulfate d'ammonium ;
- **Facteur « Nitrate-rich »** ce facteur est lui aussi principalement représenté par la présence d'ion à savoir l'ion NO_3^- avec la présence de l'ion NH_4^+ indiquant la présence du nitrate sous la forme de nitrate d'ammonium ;
- **Sels de mer** est un facteur marqué essentiellement par la présence des ions Cl, Na et Mg qui sont des traceurs des sels de mer et sont bien appréhendés dans la littérature. Sur des sites proches des côtes, l'attribution aux embruns marins ne fait généralement pas de doute.
- **Marin biogénique** est un facteur spécifique largement représenté par son traceur moléculaire, l'acide méthylsulfonique (MSA). Ce composé provient de l'oxydation d'un précurseur, le DMS, émis dans l'atmosphère par les algues. Cette source d'émissions biogéniques marines présente une saisonnalité marquée avec des maxima au printemps et en été.
- **Primaire biogénique des sols** est bien représenté par les composés de type polyols (sommés d'arabitol, sorbitol et mannitol) qui sont des marqueurs des sources biogéniques primaires reliés aux émissions des champignons, spores, pollens et débris de végétaux. Cette source d'émissions biogéniques des sols présente une saisonnalité avec des concentrations faibles en hiver.
- **Poussières crustales** est couramment rencontré avec un profil chimique caractérisé par la prédominance de Ca, Mg, Ti, Fe, Mn qui sont des éléments constituant la croûte continentale. Ils sont donc caractéristiques des phénomènes de remise en suspension des poussières de roches et de sols; on retrouve le même cortège pour les épisodes de poussières désertiques en provenance d'Afrique, avec une temporalité, des ratios inter-élémentaires, et des concentrations qui peuvent être largement différents.
- **Combustion de la biomasse** Ce facteur est couramment rencontré lors des études PMF. Il est caractérisé par une forte proportion d'OC (ratio OC/EC>1) et une prédominance du composé traceur organique de cette source, le lévoglucosan. De plus, la présence de potassium et rubidium, composés aussi fortement émis par cette source, permettent de confirmer l'attribution de ce facteur ;
- **Trafic** : Ce facteur est caractérisé par un ensemble de métaux présents spécifiquement dans les particules provenant de débris de freins, de plaquettes ou émis par les véhicules, comme Cd, Fe, Ba, Ag, Ca, Zn et Sb. De plus, ce facteur a un ratio OC/EC<1 indiquant une source

fortement émettrice d'EC comme les sources d'émissions véhiculaires directes ; pour autant que les temporalités et les covariations les associent, ce facteur peut éventuellement contenir des fractions massiques liées à la transformation des NO_x, ainsi qu'à la remise en suspension des poussières du sol.

- **Facteur industriel** : Ce facteur est bien marqué par la présence de métaux et d'éléments traces tels que Mg, Ca, Fe, Mn, Sr, Zn et Ti qui peuvent être des marqueurs de différentes sources industrielles.

Malgré ces 9 facteurs communs, chaque site compte une totalité de 10 facteurs. En plus, pour chaque site des spécificités relatives à certains facteurs ont été définies et elles sont décrites dans le paragraphe suivant.

4.2.2. Particularités des sites de mesure

Rhône-Alpes

Sels de mer : comme il a été précédemment évoqué, sur des sites proches des côtes, l'attribution aux embruns marins ne fait généralement pas de doute. Pour un site comme celui de Marnaz, il est nécessaire de mieux caractériser ces types d'épisodes. En particulier en hiver, on peut largement penser que la source est plutôt liée à la remise en suspension du sel de salage des routes.

Facteur « chlorures » : Ce facteur est atypique et il est majoritairement représenté par l'ion Cl⁻ (qui est habituellement associé à Na⁺ dans la source « sels de mer »). Au contraire, sur ce site, ce facteur peut être parfaitement séparé de la source « sels de mer ». La robustesse de la solution attachée à ce facteur indique que celui-ci représente bien une source d'émission particulière. La présence de ce facteur est exceptionnelle. D'après la littérature, différentes activités anthropiques peuvent émettre des chlorures sous différentes formes (HCl, KCl ou encore CaCl₂) comme les incinérateurs et les activités industrielles qui utilisent des solvants chlorés (décolletage industriel, secteur très présent dans cette vallée). Ce dernier point pourra être éclairci dans le cadre d'études plus détaillées sur ce sujet et qui permettront sans doute d'apporter plus d'information sur la source de ces chlorures.

Provence-Alpes-Côte d'Azur

Facteur « Sulfate-rich » : Dans la littérature, la présence de sulfate associé aux Ni et V est identifiée comme indication de l'influence de combustion de fioul lourd, d'activité pétrochimique ou de combustion de coke. Ceci confère à ce facteur un caractère anthropique marqué et spécifique;

Sels anthropisés est un facteur déjà rencontré dans des études PMF antérieures réalisées en France comme par exemple sur le site de fond urbain de Lens. Il est caractérisé par une prédominance de Na (~50%) et de Mg (~40%) avec l'absence de Cl⁻ associé. En effet, ce facteur explique moins de 5% des chlorures indiquant ainsi que ceux-ci ont dû subir des transformations et réactions, identifiées dans la littérature à un sel dit « vieilli ou anthropisé ».

Facteur « industriel » : Ce facteur est identifié à l'aide du rubidium qui est prépondérant (~70%) et par la présence de métaux et éléments traces tels que As, La, Pb et Se qui peuvent être des marqueurs de sources industrielles. Mais il reste à être confirmé car il diffère fortement des facteurs industriels habituellement rencontrés dans la littérature en raison de la présence du rubidium comme élément trace majoritaire. En effet ce composé est aussi émis par la combustion du bois, ce qui peut constituer un facteur de confusion à dissiper.

Piémont

Combustion de fioul lourd : ce facteur est bien principalement identifié par le vanadium (V), qui est un marqueur de combustion de fioul lourd mais aussi par des marqueurs de sources marines tel que le Mg et le Na ce qui indique plutôt une présence des sels anthropiques d'origine marine.

Marin biogénique/facteur MSA est un facteur spécifique sur ce site du Piémont, représenté par son traceur moléculaire, l'acide méthylsulfonique (MSA) mais qui contient aussi Na, Ni et V. La présence de ces éléments dans un tel profil de source, associé de plus à une temporalité différente de celle d'un facteur biogénique marin classique (avec quelques maxima en hiver) met potentiellement en évidence une contribution anthropique dans ce facteur, en lien avec la présence potentielle d'activités industrielles axées sur la production et/ou l'utilisation du précurseur du MSA, le diméthylsulfoxyde (DMSO) comme solvant industriel.

Combustion de la biomasse : Ce facteur est très similaire en première approche à celui mis en évidence pour le site d'Air Rhône-Alpes ; cependant la proportion de lévoglucosan dans l'ensemble du facteur (lévo / PMwb) est très différente (plus forte) de celle généralement observée sur les autres études, malgré un ratio lévoglucosan / OCwb dans un intervalle classique.

Source trafic : ce facteur est bien marqué par la présence d'un ratio OC/EC < 1 et de la présence du Ba, Cr, Cu, Mn, Mo, Sb et Zn, qui sont des marqueurs d'émissions véhiculaires. Toutefois, ce facteur resterait à confirmer en raison des faibles contributions (10-20%) de chaque espèce chimique qui y participe.

Facteur industriel : de même, ce facteur est bien caractérisé par un ratio OC/EC très inférieur à 1, avec la présence de Ba, Co, Cu, Mo, Sn et Zn qui sont des éléments traceurs des émissions industrielles (mais aussi véhiculaires). L'attribution précise de ces deux facteurs à la source « trafic » et à la source « industrielle » (respectivement) reste à confirmer par l'approche « PMF étendue »

Ligurie

Trafic : ce facteur est marqué par la présence prépondérante de Sn, Cu Zn et Zr, marqueurs d'émissions véhiculaires. De plus, le ratio OC/EC est < 1 ce qui confirme l'attribution « trafic routier » pour ce facteur.

Facteur industriel : ce dernier facteur est bien caractérisé par un ratio OC/EC très inférieur à 1 avec la présence d'Al, As, Cu, Mo, Sn et Zr qui sont des éléments traceurs des émissions industrielles (mais aussi véhiculaires). De la même manière que pour le site du Piémont, l'attribution de ces deux derniers facteurs (Trafic et facteur « industriel ») pourra être confirmée dans la suite de ces travaux.

Combustion de fioul lourd : ce facteur est bien principalement identifié par le vanadium (V) qui est un marqueur de combustion de fioul lourd; il est associé à des marqueurs de sources marines tel que le MSA, le Mg et le Na ce qui indique plutôt une présence des sels anthropiques d'origine marine.

4.2.3. Résultats

Les contributions moyennes des sources dans les concentrations de PM10, estimées par le modèle PMF, sont représentées sur la Figure 9 pour les différents sites du programme PART'AERA. Les mesures ont été effectuées de juillet 2013 à juillet 2014 sur les sites d'Air Rhône-Alpes, d'Air PACA et du Piémont et d'avril à juillet 2014 en Ligurie.

Pour l'ensemble des sites, l'analyse des contributions montre une prédominance des sources primaires (et anthropiques) d'émission de PM10, à savoir la combustion de la biomasse, le fioul

lourd, les émissions issues du trafic routier et de l'industrie. Ces sources représentent près de 39%, 38%, 34% et 41% des concentrations moyennes annuelles de PM10 mesurées respectivement à Air Rhône-Alpes, Air PACA, au Piémont et en Ligurie.

Sur la période d'échantillonnage en Ligurie, la contribution des sources primaires de combustion est de l'ordre de 41% entre avril et juillet 2014.

L'impact des sources de combustion primaires sur les concentrations de PM10 sur ces sites est comparable à ce qui est observé sur différents sites français (avec des contributions annuelles totales de ces sources de 42% à Lens ou encore 41% à Bordeaux, par exemple). Pour la plupart de ces sources, les contributions retrouvées sur les sites PART'AERA restent proches des valeurs de la littérature sur ces typologies de sites.

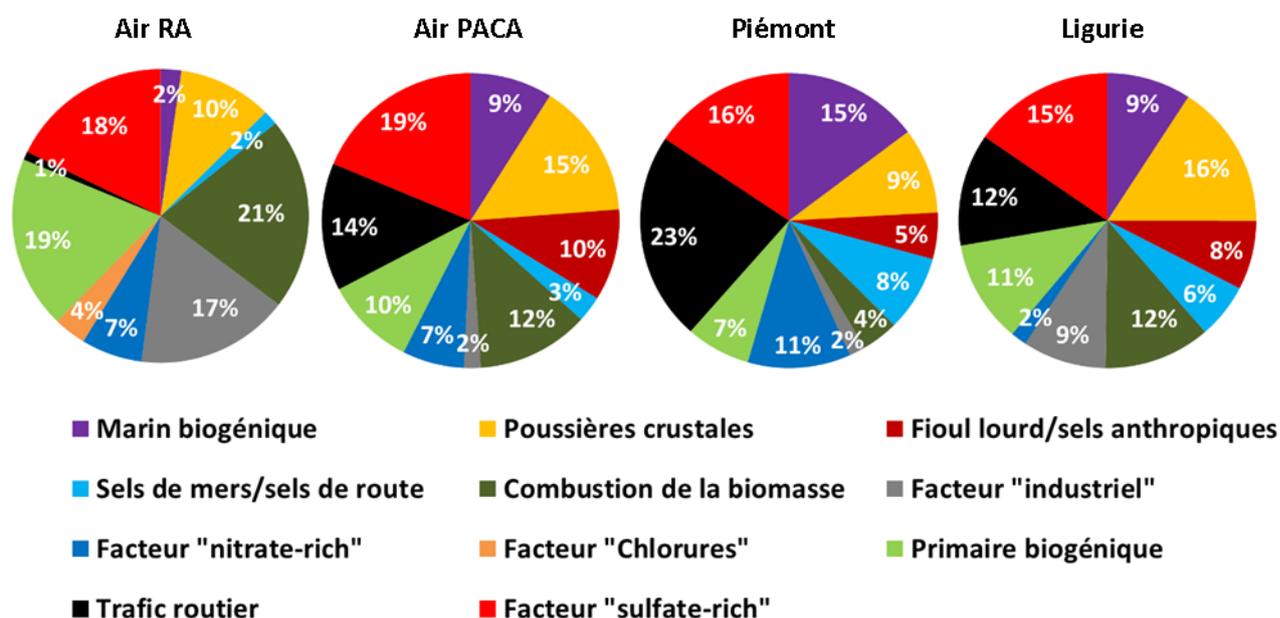


FIGURE 9 POURCENTAGES DES CONTRIBUTIONS DES DIFFERENTES SOURCES SUR LES CONCENTRATIONS DE PM10 A AIR RHONE-ALPES, AIR PACA, AU PIEMONTE ET EN LIGURIE

Il est noté un impact important de la combustion du bois sur le site d'Air Rhône-Alpes (21%) en comparaison des autres sites. Ceci est en accord avec la localisation de ce site dans la vallée de l'Arve fortement impactée par cette source d'émission (particulièrement pendant la saison hivernale).

La contribution du facteur « sulfate-rich » est très proche sur les 4 sites et comparable aux valeurs déterminées sur les différents sites urbains de Lyon et Lens (à savoir 13% et 14%) en France mais aussi en Europe (entre 16% et 24%). De même, les contributions des poussières crustales au PM10 sont assez proches sur les 4 sites et du même ordre de grandeur des contributions déterminées sur de nombreux sites en Europe (5% à 30% de la masse totale des PM10). Ces valeurs, proches sur l'ensemble des sites, indiquent clairement l'influence à grande échelle de cette source.

Au contraire, le facteur « nitrate-rich » montre des contributions plus variables sur les différents sites. Ceci semble indiquer des influences plus locales : concentrations de précurseurs plus importantes ou conditions de formation plus favorables.

La contribution des sels de mer, source primaire d'origine naturelle, est comprise entre 3% et 8% de la masse totale des PM10 pour cette étude. Elle est du même ordre de grandeur que celle observée sur les autres sites en France et en Europe (généralement entre 3% et 20%).

constaté que la combustion de biomasse représente la contribution principale des PM10, responsable de plus de 60 % des émissions. 8% ont pu être attribués au trafic routier. Comme il a été évoqué précédemment, toutes les sources ne peuvent pas être si bien définies en un facteur, c'est le cas de l'épisode de pollution des mois de Mars et Avril 2014 (Figure 11).

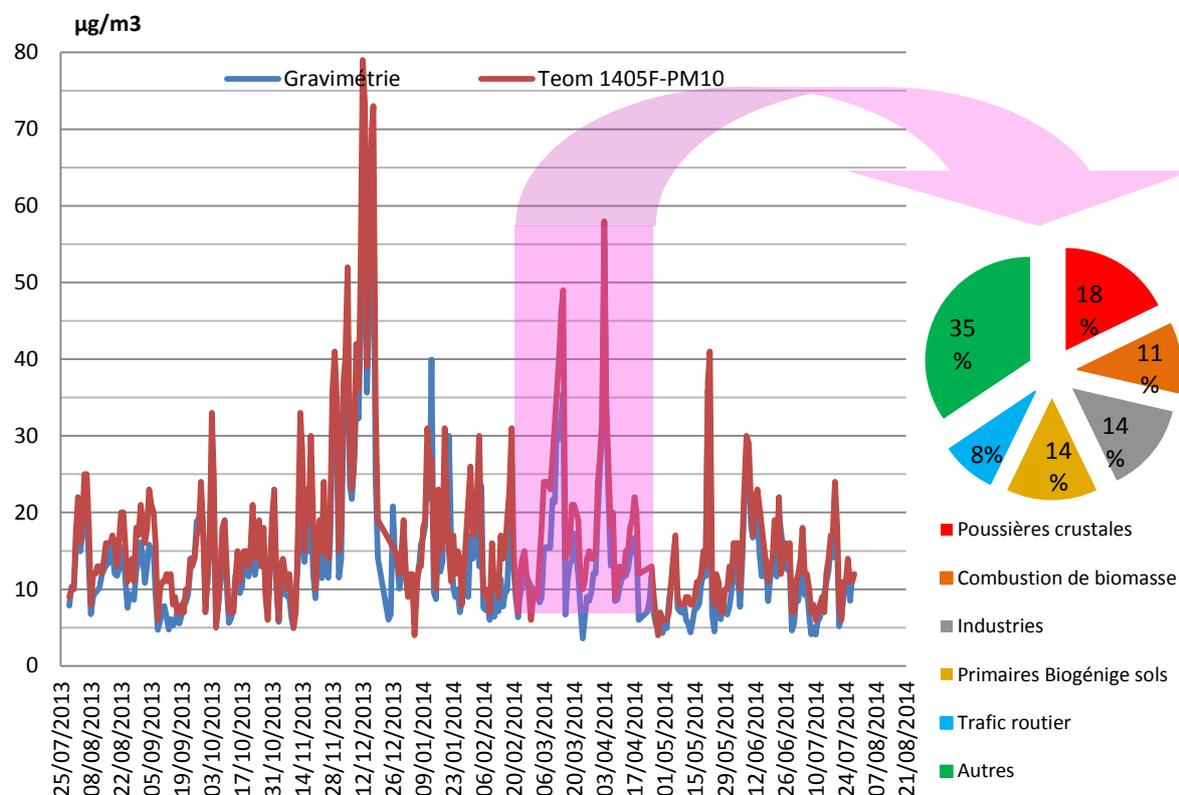


FIGURE 11 CONCENTRATIONS DE PM10 SUR LE SITE D'AIR RHÔNE-ALPES ENTRE JUILLET 2013 ET JUILLET 2014 ET ZOOM SUR LA CONTRIBUTION DES SOURCES PENDANT L'ÉPISODE DE MARS / AVRIL 2014

La Figure 11 fait un zoom sur les concentrations relativement importantes des mois de Mars/Avril 2014. Pendant cette période, il peut être noté que plusieurs sources ou facteurs ont une contribution relativement similaire. La contribution « autres », qui représente 35 % de la contribution des sources est constituée de plus de 17 % du facteur sulfate-rich, d'un peu moins de 9 % du facteur nitrate-rich et de 5% du facteur chlorures.

Il est probable au cours de cette période que l'augmentation des concentrations soit due aux épandages de l'agriculture. Cette source n'est pas directement détectable et plusieurs travaux de recherche sont actuellement en cours pour pouvoir avancer sur ce domaine. Le facteur chlorure peut être explicitement associée aux émissions d'une activité industrielle spécifique. A l'inverse, les nitrates et sulfates sont des facteurs difficilement reliés à une source spécifique. Une étude plus poussée pourrait être nécessaire pour mieux définir ces facteurs. Un pic important de nitrate d'ammonium est noté en mars 2014 (comme sur une large partie du territoire national). Il peut être attribuable aux activités agricoles plus intenses au cours de cette période.

4.3. Modélisation

4.3.1. Objectif

L'objectif principal de cette dernière partie est d'approfondir et d'harmoniser les connaissances sur l'origine des pollutions par les particules fines (en particulier les PM10). Ce dernier exercice a été fait seulement pour le site d'Air Rhône-Alpes et pour faire une liaison avec le prochain projet ALCOTRA SH'AIR. Il s'appuie également sur les mesures de gradient de vent qui ont pu être acquises grâce à l'instrumentation LIDAR spécifiquement installée sur le site de Marnaz.

Dans cette étude, le modèle de dispersion atmosphérique CHIMERE (modèle de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risqués (INERIS)) a été mis en œuvre et a permis d'étudier la contribution des sources de pollution par secteur d'activités, pour identifier les principales sources émettrices des particules fines PM10 dans la région Rhône-Alpes. Le modèle CHIMERE est développé au Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) (unité propre du CNRS bien qu'implanté sur trois sites universitaires, entre Paris et Palaiseau). Il s'agit d'un modèle de dispersion atmosphérique bien adapté à l'échelle régionale. Il permet d'estimer et de cartographier heure par heure la variabilité spatio-temporelle des concentrations en polluants sur toute la région Rhône-Alpes (avec une résolution de 3 km). CHIMERE est un modèle eulérien couplé à un module chimique complet.

Les résultats de la modélisation seront comparés à la fois aux mesures gravimétriques de concentration des PM et aux résultats des analyses de la spéciation chimique. Cette comparaison modèle-mesures a été effectuée sur trois épisodes de la période hivernale de l'année 2013. Cette étude comprend trois grandes étapes :

- 1- La mise en place de la méthode d'insertion des nouvelles espèces primaires particulières dans le modèle CHIMERE.
- 2- L'application du modèle CHIMERE-modifié sur la région Rhône-Alpes et la comparaison des résultats avec les données mesurées à la station de référence Marnaz et à d'autres sites de prélèvement de la région Rhône-Alpes.
- 3- La comparaison des résultats laboratoire (de la spéciation chimique) avec ceux du modèle CHIMERE-modifié.

4.3.2. Périodes

Les simulations numériques ont été réalisées sur un épisode de pollution hivernal caractérisé par une augmentation significative des concentrations de PM10 (entre le 7/11/2013 et le 7/12/2013, Figure 11). Comme illustré sur la

Figure 12, cette période d'un mois a été découpée en 3 échéances successives d'une durée de 10 jours pour « contenir » la divergence du modèle numérique.

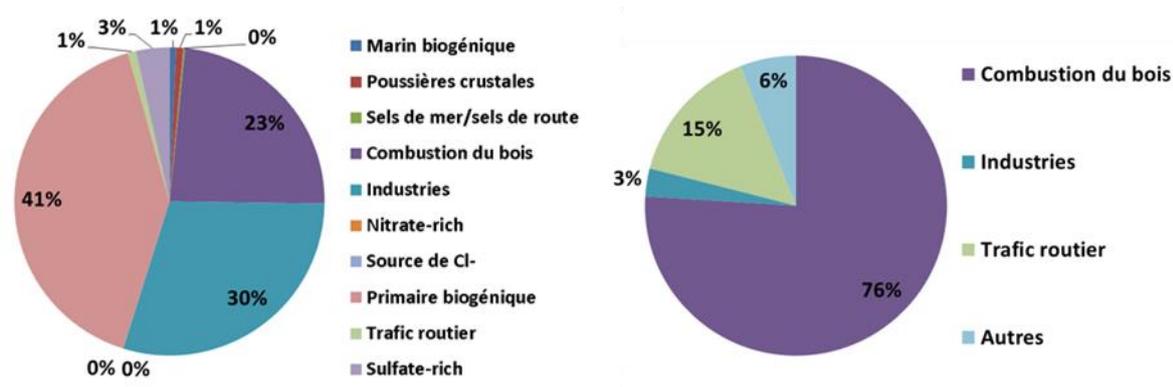
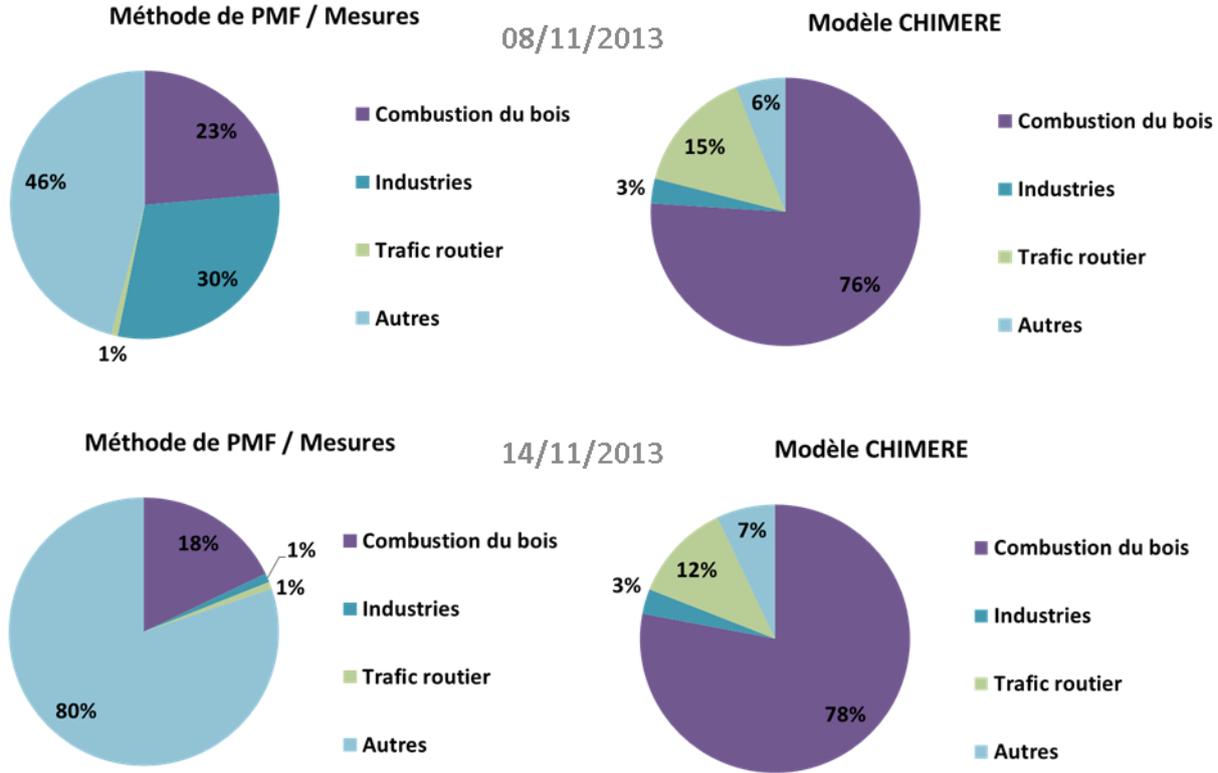


FIGURE 14 PRESENTATION DES RESULTATS DE CONTRIBUTION PAR LA METHODE PMF (A GAUCHE) ET LE MODELE CHIMERE (A DROITE) POUR LE 08/11/2013

Les résultats par la méthode PMF sont assez détaillés par rapport à ceux issus des modèles de chimie et de transport. En conséquence, une autre classification plus générale et moins détaillée, qui catégorise les sources par secteur d'activité (trafic routier, industriel, chauffage au bois et autres) a été adoptée. Cette méthode consiste à décomposer le cadastre initial de PM10 en utilisant les codes SNAP de chaque type de source à tracer. Par contre, pour les mesures toutes les espèces non identifiables par le modèle numérique ont été regroupées dans la catégorie « Autres » pour rendre les résultats plus comparables (Figure 15).



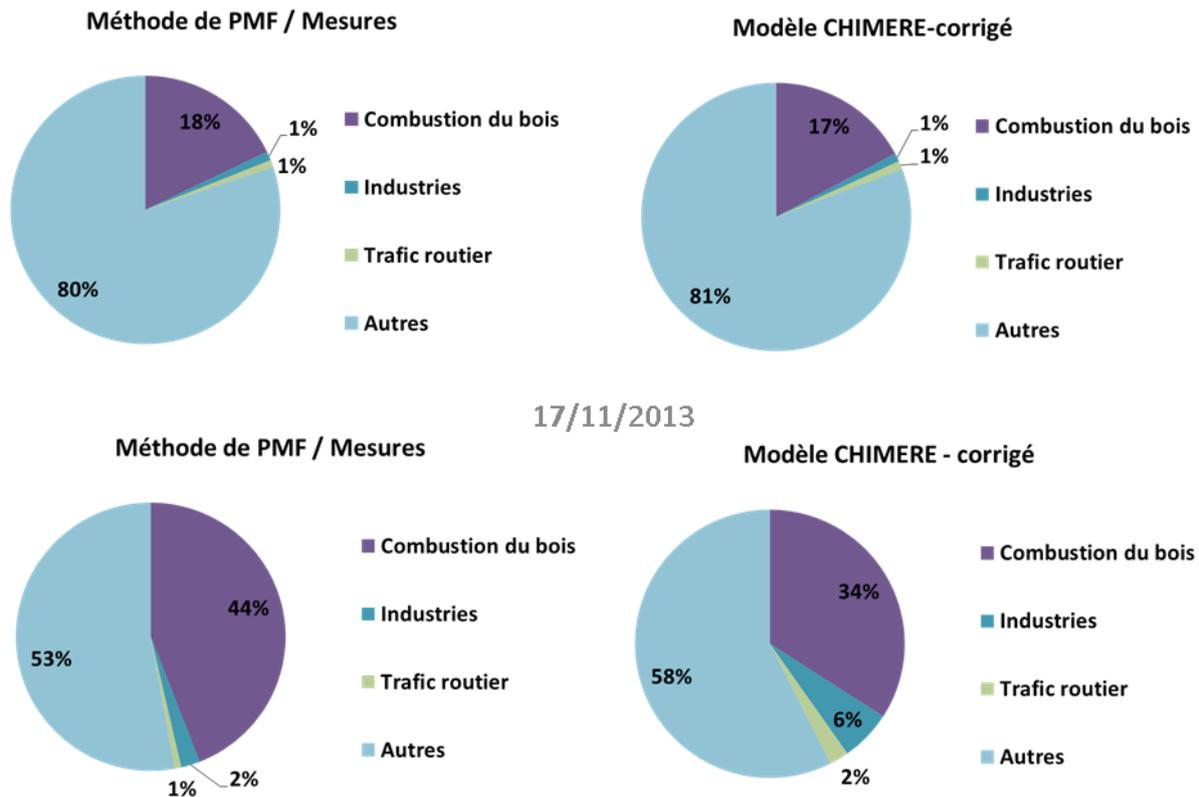


FIGURE 16 COMPARAISON DES RESULTATS DE CONTRIBUTION ENTRE LE MODELE CHIMERE CORRIGE ET LES RESULTATS PMF SUR LE SITE D’AIR RHONE-ALPES

On remarque cette fois que les résultats numériques corrigés sont beaucoup plus similaires aux résultats d’analyse déterminés par la méthode PMF.

Ces figures illustrent que la méthode de correction adoptée permet de minimiser les écarts avec les mesures. On observe par exemple que les pourcentages de contribution de la combustion de biomasse deviennent presque 2 fois moins faibles que ceux obtenus sans la correction.

Les contributions des « autres sources » deviennent en revanche plus que 7 fois plus importantes suite à cette correction.

Les travaux de caractérisation de l’origine des particules grâce à des outils de modélisation seront poursuivis dans le cadre du projet SH’AIR.

5. Conclusions

PART'AERA (www.partaera.eu) a été développé autour d'une importante coordination franco-italienne déjà initiée avec le projet AERA (www.aera-alcotra.eu). Ce projet a permis un travail de collaboration et d'échanges entre les spécialistes de la métrologie de la qualité de l'air, avec des compétences partagées.

- **La comparaison quantitative et qualitative des pratiques nationales de mesures des particules** a permis l'harmonisation des techniques de mesure et d'en évaluer leur qualité les unes par rapport aux autres, et par rapport à celle de référence européenne (gravimétrie).

Il a été noté que les mesures des deux méthodes d'analyses en continu et automatique (résultats en temps réel) Jauge Beta et TEOM FDMS suivent correctement la méthode de référence de gravimétrie (non automatique, obtention des résultats de mesures en différé), toutefois, la méthode Jauge Beta utilisée, principalement en Italie, offre des résultats dont l'écart avec la méthode de référence gravimétrique se révèle plus faible.

La méthode gravimétrique est plus développée en Italie qu'en France, ce projet a donc permis aux partenaires français de s'équiper du dispositif métrologique nécessaire à la maîtrise de la méthode de référence de mesure des particules atmosphériques sur son territoire de compétence (implémentations des laboratoires de pesée pour chaque région).

- Les résultats de **l'exercice d'inter comparaison** permettent de valider la chaîne de pesée de l'ensemble des partenaires. Malgré des pratiques parfois divergentes (manipulation des filtres, transport, conditionnement,...), les écarts constatés sont conformes aux attentes réglementaires. L'ensemble des matériels utilisés donne des résultats comparables et les laboratoires donnent des résultats cohérents.
- La coordination mise en place avait comme objectif principal **l'identification des sources d'émissions et une détermination de leurs contributions aux concentrations de PM10** mesurées. Des mesures pointues de composition chimique des particules, ensuite assimilées dans des modèles statistiques de type PMF (avec l'appui scientifique du LGGE – LCME, deux laboratoires de recherche français), ont conduit à l'identification des principales sources d'émissions de pollution ainsi qu'à leur contribution sur 4 sites (2 en France, 2 en Italie), ainsi qu'à la mise en avant de certaines spécificités liées à des sources et processus locaux.

- **le site d'Air Rhône-Alpes (Marnaz, site de fond en zone périurbaine)** semble plus fortement impacté par des sources locales comme la combustion du bois (dispositifs de chauffage) qui représente 21% des sources dans les concentrations moyennes annuelles de PM observées, cette part atteignant, dans la période hivernale, environ 60%. Un facteur industriel a également été mis en évidence (17% en moyenne sur l'année), sans qu'il ait pu être plus finement décrit. Les émissions naturelles liées aux émissions biogéniques (débris de végétaux, champignons, spores, pollens) contribuent à hauteur de 19% à la moyenne annuelle des PM.
- Les phénomènes de remise en suspension des poussières de roches et de sols contribuent à 15% des émissions des PM sur le site **d'Air PACA (Aix en Provence – Site de fond en zone urbaine)**. De la même manière, les émissions relatives au trafic atteignent 14%. Les contributions relatives au fioul lourd sont de 10%, celle de la biomasse de 12%. A noter que les contributions du secteur biogénique sont de 10% et du marin biogénique de 9%.
- Sur le site d'**Arpa-Piémont (Turin – site de fond en zone urbaine)** les émissions majoritaires identifiées sont issues du trafic avec une contribution annuelle de 23%

des PM. Les autres sources restent difficilement identifiables pour ce site et méritent des enquêtes plus spécifiques et plus détaillées.

- En ***Liguria (Cengio - Site rural de fond)***, malgré un échantillonnage qui n'est pas représentatif des contributions annuelles des différentes sources (le démarrage de la campagne de prélèvement a démarré plus tard par rapport aux autres partenaires), la source de combustion du bois reste importante pour la saison de mesure avec une contribution moyenne de 12% entre avril et juillet 2014. Ce site est influencé par des sources « sels de mer » en accord avec sa localisation géographique, à quelques kilomètres de la mer Méditerranée.

Finalement, ces travaux ont permis de confirmer l'intérêt que présente l'utilisation des espèces chimiques traceurs de l'origine de la pollution atmosphérique, afin de permettre une meilleure identification des sources. L'ensemble de ces développements apporte une meilleure compréhension de la composition des PM afin de donner des outils plus performants et plus précis pour l'élaboration de meilleures stratégies de réduction des émissions sur ces différents sites. Une voie de développement de ces conclusions est maintenant de **rendre automatiques les mesures de la composition chimique des particules**, orientation en cours de mise en œuvre en France.

Le séminaire PART'AERA organisé à Turin le 12 mars 2015 a permis de réunir différents acteurs du domaine de la pollution de l'air au niveau européen (voir international) et faire un état de l'avancement général des travaux.

Les résultats obtenus dans le projet PART'AERA sont utilisés et valorisés dans le projet SH'AIR ALCOTRA (conclusions en décembre 2015), avec pour objectifs de poursuivre l'appui à la décision en matière de gestion de la qualité de l'air. Ce projet vise à mettre en place sur le territoire ALCOTRA un outil d'aide à la planification d'actions en faveur de la qualité de l'air en identifiant, grâce à un outil de modélisation, les responsabilités des différents secteurs d'activités et en quantifiant la contribution des importations de pollutions extérieures au territoire. Ce projet amènera un progrès majeur par rapport à PART'AERA puisque la part de contribution des différentes sources devrait pouvoir être accessible en chaque point du territoire ALCOTRA.

Table des illustrations

FIGURE 1 LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES SITES DE MESURES	5
FIGURE 2 VALEURS DES MESURES DE GRAVIMETRIE DES CONCENTRATIONS DES PM ₁₀ POUR LES 4 SITES DE MESURE	8
FIGURE 3 VALEURS MAX, MOYENNES ET MIN DES MESURES DE GRAVIMETRIE ET TEOM FDMS EN RHONE-ALPES (A GAUCHE) ET SWAM (A DROITE) EN PIEMONT	9
FIGURE 4 CORRELATION ENTRE LES VALEURS DES CONCENTRATIONS DE PM ₁₀ DE GRAVIMETRIE (RM : METHODE DE REFERENCE) ET DE TEOM FDMS (CM : METHODE COMPARATIF)	10
FIGURE 5 CORRELATION ENTRE LES VALEURS DES CONCENTRATIONS DE PM ₁₀ DE GRAVIMETRIE (CM : METHODE DE REFERENCE) ET DE SWAM (JAUGE BETA) (CM : METHODE COMPARATIF)	11
FIGURE 6 LOCALISATION DU SITE D'INTERCOMPARAISON A MARSEILLE	12
FIGURE 7 GRAPHIQUE DES RESULTATS DES PRELEVEMENTS EN µG/M ³ PAR 24H.....	13
FIGURE 8 BILAN DE MASSE DES PM ₁₀ DE JUILLET 2013 A JUILLET 2014 A AIR RA, AIR PACA ET PIEMONT ET D'AVRIL 2014 A JUILLET 2014 EN LIGURIE	15
FIGURE 9 POURCENTAGES DES CONTRIBUTIONS DES DIFFERENTES SOURCES SUR LES CONCENTRATIONS DE PM ₁₀ A AIR RHONE-ALPES, AIR PACA, AU PIEMONT ET EN LIGURIE	20
FIGURE 10 CONCENTRATIONS DE PM ₁₀ SUR LE SITE D'AIR RHÔNE-ALPES ENTRE JUILLET 2013 ET JUILLET 2014 ET ZOOM SUR LA CONTRIBUTION DES SOURCES PENDANT L'EPISODE DE DECEMBRE 2013.....	21
FIGURE 11 CONCENTRATIONS DE PM ₁₀ SUR LE SITE D'AIR RHÔNE-ALPES ENTRE JUILLET 2013 ET JUILLET 2014 ET ZOOM SUR LA CONTRIBUTION DES SOURCES PENDANT L'EPISODE DE MARS / AVRIL 2014.....	22
FIGURE 12 : PERIODES SIMULEES PAR CHIMERE.	24
FIGURE 13 EVOLUTION JOURNALIERE DE LA CONCENTRATION EN PM ₁₀ (SUR LE SITE D'AIR RHONE-ALPES : MARNAZ).....	25
FIGURE 14 PRESENTATION DES RESULTATS DE CONTRIBUTION PAR LA METHODE PMF (A GAUCHE) ET LE MODELE CHIMERE (A DROITE) POUR LE 08/11/2013	26
FIGURE 15 COMPARAISON DES RESULTATS DE CONTRIBUTION CALCULES PAR LE MODELE CHIMERE (A DROITE) AVEC LES MESURES DELIVREES PAR LE LGGE (A GAUCHE) POUR LE 08/11/2013, 14/11/2013 ET 17/11/2013	27
FIGURE 16 COMPARAISON DES RESULTATS DE CONTRIBUTION ENTRE LE MODELE CHIMERE CORRIGE ET LES RESULTATS PMF SUR LE SITE D'AIR RHONE-ALPES	28