

Note technique

Travaux financés par le ministère chargé de l'environnement

VERIFICATION DE LA QUALITE ET VEILLE TECHNOLOGIQUE SUR LES FILTRES UTILISES POUR LA MESURE DES METAUX DANS LES PM₁₀

IDENTIFICATION DES SOURCES DE PM₁₀ COLLECTES DANS LE CADRE DU PROGRAMME CARA

Laurent ALLEMAN (IMT Lille Douai)

SYNTHESE

Comme chaque année, le LCSQA-IMT Lille Douai assure un rôle de conseil, de transfert de compétence et d'expertise vers les AASQA, soit directement ou par l'intermédiaire de groupe de travail dans le domaine de la mesure des polluants métalliques dans les particules atmosphériques. Ce travail inclut l'analyse de filtres vierges en fibre de quartz envoyés par les AASQA permettant d'assurer l'assurance qualité. L'année 2019 est une année de transition vers la prise en charge par SynAirGIE de l'achat des filtres vierges. Cette année, plusieurs lots de filtres vierges en fibre de quartz ont été contrôlés et caractérisés chimiquement vis à vis de leurs teneurs en métaux et métalloïdes pour 3 AASQA différentes (Airparif, Ilg'Air, Madinair).

Dans le cadre du programme CARA, les analyses des métaux, métalloïdes et éléments majeurs des échantillons de PM₁₀ collectés pendant l'année 2018 en Martinique ont permis, suite à un traitement statistique (ACP, PMF) l'identification des principales sources de particules affectant la zone (site récepteur) et leurs contributions relatives à la masse des PM₁₀ (voir note « Caractérisation chimique et étude de sources des particules en Martinique en 2018 »).

1. CONTEXTE

Depuis 2007, une surveillance est effectuée par l'ensemble des AASQA de façon continue ou ponctuelle, pour le Pb, As, Cd et Ni dans les PM₁₀ en accord avec les Directives européennes en vigueur (2008/50/CE et 2004/107/CE modifiées par la Directive 2015/1480/CE).

Les objectifs de l'IMT Lille Douai, au sein du LCSQA, sont :

- d'assurer un rôle de conseil et de transfert de connaissances auprès des AASQA concernant l'analyse des métaux dans l'air ambiant notamment au travers de GT et CS,
- de procéder à des analyses et des études permettant de garantir la qualité des résultats,
- de participer activement aux travaux de normalisation français (AFNOR X43D) et européens (WG14, WG20, WG44),
- de réaliser une veille technologique sur les nouvelles méthodes de prélèvement et d'analyse susceptibles d'optimiser les coûts et de faciliter l'acquisition de données, tout en respectant les objectifs de qualité,
- de participer à la valorisation des activités de surveillance et des études menées en collaborations avec les AASQA.

2. INTRODUCTION

Dans le cadre de sa politique de surveillance de la qualité de l'air, l'Union Européenne prévoit la surveillance de polluants particuliers (Directives 2008/50/CE et 2004/107/CE modifiées par la Directive 2015/1480/CE, ainsi que l'arrêté du 17 juillet 2019 modifiant l'arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant). La quatrième Directive fille de 2004 rend obligatoire la mesure des métaux As, Cd et Ni venant s'ajouter à celle du Pb dans les particules PM₁₀ en suspension dans l'air ambiant. Cette mesure doit être réalisée suivant la méthode de référence NF EN 14902 (2005) ou suivant une méthode démontrée équivalente.

La surveillance des métaux sur le territoire français est réalisée par l'ensemble des AASQA, lors de prélèvements en continu ou ponctuels, dans le cadre de la surveillance réglementaire.

Dans ce contexte, le rôle du LCSQA/IMT Lille Douai inclut à la fois du développement métrologique (test de nouveaux supports de prélèvement et mise au point de méthodes de mesures), des travaux visant à assurer l'homogénéité et la justesse des mesures réalisées par les AASQA (conseils au réseau, test et/ou distribution de filtres vierges en fibre de quartz, élaboration de filtres de tests impactés de PM₁₀, campagnes de comparaison inter-laboratoires tous les deux ou trois ans) mais aussi vers de la veille technologique (méthodologies et instrumentations), de la réflexion sur la stratégie de prélèvement et de la valorisation des mesures dans le cadre du programme CARA.

En 2019, les travaux réalisés dans le cadre du LCSQA ont porté sur les actions suivantes :

- La transmission de connaissances techniques auprès des AASQA et des laboratoires

- associés au travers d'échanges (email, téléphone).
- La validation de filtres vierges en fibre de quartz fournis par les AASQA qui le souhaitent. Des filtres sont achetés par lots par les AASQA et leurs caractéristiques chimiques sont contrôlées après envoi de leur part d'un sous-échantillon de 10 filtres vierges. En 2019, 4 lots de filtres en fibre de quartz (Fisherbrand, Pall et Whatman) ont été validés pour 3 AASQA.
 - L'analyse des métaux, métalloïdes et éléments majeurs dans des échantillons de PM₁₀ collectés dans le cadre du programme CARA en Martinique durant l'année 2018 et le traitement statistique (ACP, PMF) pour l'identification des principales sources de particules affectant la zone (site récepteur) et leurs contributions relatives à la masse des PM₁₀.
 - La participation à la CS « Anticipation », aux GT « Stratégie BC et PUF » et « Observatoires nationaux » et à la rédaction du « Guide de validation des données à analyse différée ».

3. TRANSMISSION DES CONNAISSANCES

Depuis 1999, grâce à des collaborations avec les AASQA, aux travaux que nous avons menés dans le cadre de programmes de recherche (ANR, ADEME, PRIMEQUAL, ANSES ...), à notre participation aux groupes de travail européens sur les normes NF EN 14902 et EN 15841 ou AFNOR (NF X43-014) ainsi qu'aux essais de comparaison inter-laboratoires européens (EMEP, JRC, IRMM, NILU, NRC), IMT Lille Douai a acquis une expérience théorique et pratique de la mesure des métaux dans les particules atmosphériques en suspension dans l'air ambiant et les dépôts atmosphériques. De ce fait, une partie de notre travail consiste à transférer notre expertise vers les AASQA. Cet échange se fait :

- de façon personnalisée, à travers des contacts téléphoniques et des échanges de courriels avec les AASQA et leurs laboratoires prestataires.
- par une aide aux AASQA pour la sélection de laboratoires d'analyse. Un questionnaire et une procédure ont été rédigés à cet effet (rapport métaux LCSQA, annexe 2, 2009). Un kit de test (filtres, matériau de référence certifié) peut également être envoyé au laboratoire désigné dont les résultats d'analyse sont ensuite évalués par nos soins.
- de façon plus générale, par la rédaction et l'implémentation du guide technique et méthodologique de l'analyse de l'As, Cd, Ni et Pb dans l'air ambiant (LCSQA 2/2 : Prélèvement et analyse des métaux dans les particules en suspension dans l'air ambiant, 2007). La dernière version incluant la mesure des métaux dans les dépôts est parue en 2012.
- par notre transfert d'expertise dans le cadre du groupe de travail sur les incertitudes (concernant les métaux), du groupe de travail sur la caractérisation des PM (GT CCSPM) et du comité de suivi (CS Benzène, Métaux, HAP).
- plus en amont, en participant aux groupes de travail français et européens sur la normalisation de la mesure des métaux dans l'air ambiant (WG14 : NF EN 14902) ou dans les retombées atmosphériques (GT X43D : X43-014 modifiée, WG 20 : EN 15841) et sur la normalisation des méthodes d'évaluation des sources de PM (WG44 : Source apportement).
- enfin, par la valorisation et la diffusion des travaux du LCSQA-IMT Lille Douai au travers de communications scientifiques : une publication issue des essais de

terrains pour la norme EN 15841 est parue en 2010 dans Journal of Environmental Monitoring (Aas et al., 2010). Les résultats d'intercomparaison du JRC sur les métaux réglementés dans l'air ambiant ont été publiés en 2011 dans Atmospheric Environment (Gerboles et al., 2011). Les travaux sur les échantillons CARA prélevés sur le site de Lens ont permis la publication d'un article sur l'identification des sources de PM₁₀ dans la région Nord-Pas de Calais (Waked et al., 2014), en Rhône Alpes (Srivastava et al., 2018) ou d'autres sites en France (Weber et al., 2019).

4. FOURNITURES DE FILTRES VIERGES

Les particules PM₁₀, réglementées au niveau européen, sont prélevées sur filtres avant d'être transportées au laboratoire pour l'analyse des métaux. La qualité des filtres vierges est donc un facteur important de la méthode de mesure car les teneurs en métaux cibles inclus dans leurs matrices peuvent générer un biais lors de l'analyse. Ce problème est particulièrement significatif pour le nickel, élément pour lequel les teneurs apportées par les médias filtrants en quartz peuvent parfois être du même ordre de grandeur que les teneurs dans les PM₁₀ prélevées dans l'air ambiant (sites ruraux ou périurbains). Le rôle de l'IMT Lille Douai dans le choix des filtres s'articule à présent autour de deux actions : (1) le contrôle et la validation de filtres en fibre de quartz fournis par les AASQA; (2) une veille auprès des différents fournisseurs concernant le type et la qualité des filtres disponibles sur le marché.

4.1 Contrôle des filtres

En prenant pour hypothèse (vérifiée jusqu'à présent) que la qualité des filtres est relativement homogène dans un même lot de fabrication, des contrôles de la teneur en métaux sont réalisés avant la mise en service de chaque nouveau lot de fabrication par les AASQA.

Ils sont effectués en prélevant de façon aléatoire dix filtres vierges envoyés par les AASQA qui sont préparés et analysés suivant les préconisations de la norme NF EN 14902 pour l'analyse des métaux dans les PM₁₀ à savoir : solubilisation par minéralisation au four micro-ondes à 220°C pendant 20 mn en milieu HNO₃/H₂O₂ (3/1) puis analyse des métaux réglementés (As, Cd, Ni, Pb) par ICP-MS avec cellule de collision (gaz He) et/ou de réaction (gaz H₂).

4.2 Contrôle de filtres en fibre de quartz

La fourniture de filtres vierges validés en amont n'ayant pas été financée en 2019, il a été proposé aux AASQA qu'elles achètent directement les filtres auprès de fournisseurs et que le LCSQA-IMT Lille Douai se charge d'effectuer les tests et calculs de limite de détection/quantification sur 10 filtres envoyés par les AASQA qui le souhaitent.

Ils sont à utiliser uniquement pour des prélèvements hebdomadaires afin de limiter les problèmes de contamination (valeur de blanc non négligeable pour le Ni notamment, issu de la matrice quartz, voir données dans les tableaux ci-après).

Au cours de l'année 2019, nous avons validé les filtres en quartz de 47 mm de diamètre envoyés par 3 AASQA provenant de la marque Whatman GE (1 lot de fabrication QMA), de la marque Pall (1 lot de fabrication QAT-UP) et de la marque FisherBrand (1 lot quartz grade 293). De plus, un lot de filtres quartz de 150 mm de diamètre (QMA de Whatman GE) a également été analysé.

Les teneurs moyennes des 4 éléments ciblés sont rappelées, par numéro de lot dans les tableaux 1 à 4.

Tableau 1 : Filtres vierges en fibre de quartz grade 293 FisherBrand - code 11810952

	As	Cd	Ni	Pb
<i>Teneur (ng/filtre)</i>	0,35	0,05	30,1	9,9
<i>LD techn. (ng/filtre)</i>	0,03	0,01	1,3	0,06
<i>LD méth. (ng/filtre)</i>	0,49	0,07	12,7	1,93

Tableau 2 : Filtres vierges en fibre de quartz Whatman QMA - lot 16998257

	As	Cd	Ni	Pb
<i>Teneur (ng/filtre)</i>	0,14	0,14	12,8	5,2
<i>LD techn. (ng/filtre)</i>	0,03	0,01	1,3	0,06
<i>LD méth. (ng/filtre)</i>	0,3	0,32	8,4	2,4

Tableau 3 : Filtres vierges en fibre de quartz Pall QAT-UP - lot 20695

	As	Cd	Ni	Pb
<i>Teneur (ng/filtre)</i>	0,07	0,02	47	3,3
<i>LD techn. (ng/filtre)</i>	0,04	0,01	0,8	0,1
<i>LD méth. (ng/filtre)</i>	0,2	0,02	49,9	5,0

Tableau 4 : Filtres vierges en fibre de quartz Whatman QMA – 150 mm

	As	Cd	Ni	Pb
<i>Teneur (ng/filtre)</i>	0,4	0,02	42,1	6,0
<i>LD techn. (ng/filtre)</i>	0,04	0,01	0,8	0,1
<i>LD méth. (ng/filtre)</i>	0,4	0,02	16,2	2,7

Les analyses en V, Cu, Mn, Co, Cr et Zn ont également été effectuées sur ces lots de filtres mais ne sont données qu'à titre indicatif (Tableaux 5 à 8) car cela concerne des éléments non réglementés dans l'air ambiant. En effet, la méthode utilisée (NF EN 14902 : 2005 avec mélange HNO₃/H₂O₂) n'a pas été validée au niveau européen pour ces éléments, notamment dans le cas du Cr (taux de récupération trop faible < 70% et blancs parfois élevés par rapport aux concentrations dans les PM₁₀). Des travaux précédents du LCSQA/IMT Lille Douai (rapport LCSQA, 2014) ont toutefois montré qu'à l'exception du Cr, ces éléments étaient mesurables et l'application de la norme EN 14902 permettait d'obtenir des critères de qualité comparables aux métaux réglementés.

Tableau 5 : Filtres vierges en fibre de quartz grade 293 FisherBrand - code 11810952

	V	Cu	Mn	Co	Cr	Zn
Teneur (ng/filtre)	0,3	4,3	15,1	1,9	145	61,2
LD_{techn.} (ng/filtre)	0,02	0,2	0,3	0,02	1,6	4,6
LD_{méth.} (ng/filtre)	0,2	2,4	15,8	2,9	41	19

Tableau 6 : Filtres vierges en fibre de quartz Whatman QMA - lot 16998257

	V	Cu	Mn	Co	Cr	Zn
Teneur (ng/filtre)	0,7	8,3	16	1,8	75,7	147
LD_{techn.} (ng/filtre)	0,02	0,2	0,3	0,02	1,6	4,6
LD_{méth.} (ng/filtre)	0,4	6,1	9,1	0,6	18	103

Tableau 7 : Filtres vierges en fibre de quartz Pall QAT-UP - lot 20695

	V	Cu	Mn	Co	Cr	Zn
Teneur (ng/filtre)	0,6	6,4	27	1,1	203	106
LD_{techn.} (ng/filtre)	0,04	0,10	0,10	0,01	1,20	10,20
LD_{méth.} (ng/filtre)	1,2	19,2	73	1,6	191	275

Tableau 8 : Filtres vierges en fibre de quartz Whatman QMA – 150 mm

	V	Cu	Mn	Co	Cr	Zn
Teneur (ng/filtre)	1,1	24,1	34,4	1,0	137	66,9
LD_{techn.} (ng/filtre)	0,04	0,10	0,10	0,01	1,20	10,20
LD_{méth.} (ng/filtre)	0,4	11,9	5,6	0,5	31	95

Les limites de détection méthodologique ($LD_{\text{méth.}}$) et technique ou analytique ($LD_{\text{techn.}}$) sont calculées respectivement à partir de l'analyse d'une série de dix filtres vierges (incluant donc la procédure de minéralisation de ces filtres) et de dix blancs d'acide (incluant la variabilité analytique) suivant la formule générale : $LD = 3 \times \sigma$, avec σ l'écart-type calculé à partir de la moyenne des dix mesures de concentrations. La $LD_{\text{méth.}}$ reflète surtout les variations des teneurs en élément contenu dans les filtres vierges.

Tableau 9 : Valeurs cibles et seuils d'évaluation inférieur (SEI ou LAT) de la directive et concentrations moyennes françaises (AASQA) dans l'air ambiant en site urbain de fond (2000 - 2005) exprimés en ng/filtre pour des prélèvements hebdomadaires (168 m³).

	As	Cd	Ni	Pb
Valeurs cibles	1008	840	3360	84000
LAT (Seuil min.)	403	336	1680	42000
Valeurs moyennes en France (ng/filtre)	0,4	0,1	16,0	4,9

Dans le tableau 9, les valeurs cibles de la 1^{ère} et 4^{ème} directive ont été multipliées par 168 (volume d'une semaine de prélèvement à 1m³/h) pour être exprimées en ng/filtre au lieu de ng/m³. Ces teneurs sont très inférieures (d'un facteur 10 à 100) au Seuil d'Evaluation Inférieur (SEI ou LAT) ou aux teneurs moyennes urbaines françaises pour des prélèvements hebdomadaires (Tableau 9).

4.3 Nouvelle procédure de validation des filtres en fibre de quartz acheté par l'intermédiaire de SynAirGIE

Depuis de nombreuses années, l'IMT Lille Douai assure, dans le cadre du LCSQA, l'estimation du niveau de blanc des filtres en fibre de quartz de 47 mm utilisés pour la mesure des métaux réglementés. Jusqu'en 2018, ces filtres étaient financés par le LCSQA, ce qui n'est plus le cas depuis 2019 du fait des restrictions budgétaires. La solution actuelle, insatisfaisante, consiste à ce que les AASQA achètent elles-mêmes les filtres pour leur consommation propre et envoient un lot de 10 filtres vierges à tester par l'IMT Lille Douai avant de les mettre en circulation dans leur région.

Cela coûte plus cher car la quantité de filtres achetés par chaque AASQA est moindre et cela démultiplie les analyses avec des délais forcément plus longs. Cette procédure ne permet plus d'avoir une homogénéité des supports sur l'ensemble de la France, indispensable pour les métaux à faibles teneurs dans l'air.

Il est proposé, par l'intermédiaire de SynAirGIE, de procéder à un achat groupé de ces filtres à partir de 2020, afin de palier à ces désagréments. SynAirGIE, dans le cadre de son activité « achats groupés » mais hors marchés publics, passera les commandes et paiera les factures (après appel de fonds auprès des AASQA partenaires). Les lots de filtres achetés en début d'année (QMA Whatman GE et QAT-UP Pallflex) seront analysés et validés par l'IMT Lille Douai comme par le passé (moyenne des blancs et calculs de limite de détection/quantification pour 10 filtres pris aléatoirement). Les filtres seront ensuite envoyés vers les AASQA partenaires.

5. IDENTIFICATION DES SOURCES DE PM₁₀ COLLECTES DANS LE CADRE DU PROGRAMME CARA

Cette étude vise à déterminer les principales sources d'émissions et l'origine géographique des particules PM₁₀ affectant la qualité de l'air sur différents sites du programme CARA. L'objectif consiste notamment à mettre en évidence l'origine des particules associées aux dépassements de concentrations en PM₁₀ sur la zone étudiée. En effet, certaines régions françaises (Haut de France, Auvergne-Rhône-Alpes, Île-de-France, Provence-Alpes-Côte d'Azur, ...) présentent des dépassements de seuil en PM₁₀ (> 50 µg/m³ en moyenne journalière plus de 35 jours/an) et se trouvent dans l'obligation de prendre des mesures vis-à-vis de la réglementation européenne.

5.1 Principe

En 2018, des particules ont été collectées sur 24h sur filtres en fibre de quartz (150 mm) à l'aide d'un Digital DA80 (débit de 30 m³/h) ou sur filtres en fibre de quartz (47 mm) à l'aide d'un Leckel (débit de 2,3 m³/h) pour 5 sites de Martinique. Les filtres ont été sous-échantillonné à l'aide d'un poinçon de 47 mm (DA80) ou distribué directement (Leckel) aux différents partenaires de ce projet (INERIS, LGGE-Grenoble, IMT Lille Douai) en vue de l'analyse de l'EC/OC, des anions-cations, de composés organiques traceurs (alcool, sucres) et de métaux et métalloïdes.

IMT Lille Douai étant en charge de l'analyse des éléments métalliques traces et majeurs a reçu plusieurs dizaines d'échantillons de 5 stations (Brume, Renéville, Le Lamentin, Bellevue, Sainte Luce) ainsi que 18 filtres vierges provenant de chacun des sites, pour la détermination des blancs de filtres et des limites de détection méthodologiques.

Au total, 37 éléments métalliques, majeurs et traces, ont été analysés par ICP-MS (Perkin Elmer NexION 300X) selon la norme EN 14902 :2005.

5.2 Préparation et analyse des échantillons du programme CARA

Les filtres ont été stockés dans leurs boîtes de pétri à -20°C puis ont été minéralisés en milieu acide au four micro-onde selon les préconisations de la norme EN 14902 :2005 (mélange HNO₃/H₂O₂ à 200°C). Des échantillons de NIST SRM 1648a et des filtres vierges en quartz ont été minéralisés en parallèle pour valider la procédure de digestion acide.

Les solutions de minéralisation ont été complétées à 50 mL à l'aide d'eau ultrapure pour former les solutions mères. Ces solutions ont ensuite été diluées 2 à 50 fois avant d'être analysées en triplicat.

Des échantillons de contrôle qualité (solutions multi-élémentaires certifiées et rattachées au NIST) à 400 ppt et des blancs de la matrice acide ont été analysés tous les 5 à 10 échantillons pour valider la procédure analytique et estimer les incertitudes de mesure.

Les limites de détection (LD) et de quantification (LQ) ont été déterminées sur la moyenne des blancs de filtres vierges analysés selon le même protocole que les échantillons.

Les concentrations exprimées en ng/m^3 sont calculées pour chaque échantillon après soustraction de la moyenne des blancs de filtres pour chaque élément validé. Les incertitudes de mesures sont estimées sur la base des blancs de filtre vierges, des limites de détection, de la répétabilité des contrôles de qualité, du taux de recouvrement des MRC et de l'incertitude du volume de prélèvement (Waked et al., 2014).

5.3 Résultats et interprétation des analyses

Les résultats des analyses sont présentés et discutés dans la note « Caractérisation chimique et étude de sources des particules en Martinique en 2018 » disponible sur le site internet du LCSQA.

Les données en éléments métalliques viennent compléter les bases de données des autres composés analysés (EC, OC, Anions, Cations, sucres, ...) en vue de l'utilisation de modèles de types sources-récepteurs (US EPA PMF 5.0 - *Positive Matrix Factorization*) permettant d'identifier et d'estimer les contributions relatives des principales sources d'émissions de PM_{10} (Waked et al., 2014 ; Srivastava et al., 2018). Ces travaux de recherche ont montré l'intérêt de ce type d'étude pour une meilleure compréhension des sources locales ou régionales à l'origine de la formation des particules PM_{10} . Au vu de l'ensemble des résultats d'analyses chimiques, les particules naturelles (sels de mers, particules du sol), et en particulier les poussières sahariennes, jouent un rôle prépondérant dans la survenue des dépassements des seuils journaliers fixés pour les PM_{10} en Martinique. L'impact du trafic automobile (échappement et abrasion mécanique), notamment à Renéville (site proximité automobile) et Lamentin (fond urbain) semble également être un contributeur majeur des PM_{10} .

6. CONCLUSIONS

Les travaux réalisés en 2019 par le LCSQA/IMT Lille Douai ont porté notamment sur la validation de filtres vierges en fibre de quartz achetés et fournis de 3 AASQA permettant d'obtenir une assurance qualité des filtres utilisés pour la surveillance des métaux réglementés. Cette méthode sera remplacée par l'analyse de lots de filtres en quartz achetés et fournis par l'intermédiaire de la centrale d'achat de SynAirGIE afin de simplifier la procédure et de maintenir l'assurance qualité rendue indispensable au vu des faibles teneurs en métaux actuellement mesurées dans l'air au niveau national.

Dans le cadre du programme CARA, les analyses des métaux, métalloïdes et éléments majeurs des échantillons de PM_{10} collectés en 2018 en Martinique permettent par analyse statistique (PMF) l'identification et l'estimation des contributions relatives à la masse des PM_{10} collectées des principales sources de particules (émissions véhiculaires en milieu urbain et apports Saharien lors des dépassements) affectant les sites récepteurs.

7. REFERENCES

- **Belis C.A., D. Pernigotti, G. Pirovano, O. Favez, J.L. Jaffrezo, J. Kuenen, H. Denier van Der Gon, M. Reizer, V. Riffault, L.Y. Alleman, M. Almeida, F. Amato, A. Angyal, G. Argyropoulos, S. Bande, I. Beslic, J.-L. Besombes, M.C. Bove, P. Brotto G. Calori, D. Cesari, C. Colombi, D. Contini, G. De Gennaro, A. Di Gilio, E. Diapouli, I. El Haddad, H. Elbern, K. Eleftheriadis, J. Ferreira, M. Garcia Vivanco, S. Gilardoni, B. Golly, S. Hellebust, P.K. Hopke, Y. Izadmanesh, H. Jorquera, K. Krajsek, R. Kranenburg, P. Lazzeri, F. Lenartz, F. Lucarelli, K. Maciejewska, A. Manders, M. Manousakas, M. Masiol, M. Mircea, D. Mooibroek, S. Nava, D. Oliveira, M. Paglione, M. Pandolfi, M. Perrone, E. Petralia, A. Pietrodangelo, S. Pillon, P. Pokorna, P. Prati, D. Salameh, C. Samara, L. Samek, D. Saraga, S. Sauvage, M. Schaap, F. Scotto, K. Segal, G. Siour, R. Tauler, G. Valli, R. Vecchi, E. Venturini, M. Vestenius, A. Waked, E. Yubero, (2020).** *Evaluation of receptor and chemical transport models for PM₁₀ source apportionment*, Atmospheric Environment X; Vol 5.
- **Weber S., D. Salameh, A. Albinet, L. Y. Alleman, A. Waked, J. L. Besombes, V. Jacob, G. Guillaud, B. Mesbah, B. Rocq, A. Hulin, M. Dominik-Segue, E. Chretien, J. L. Jaffrezo, O. Favez (2019).** *Comparison of PM₁₀ Sources Profiles at 15 French Sites Using a Harmonized Constrained Positive Matrix Factorization Approach*, Atmosphere, Vol 10, 310.
- **Srivastava D., S.Tomaz, O. Favez, G-M. Lanzafame, B. Golly, J.-L. Besombes, L. Y. Alleman, J.-L. Jaffrezo, V. Jacob, E. Perraudin, E. Villenave and A. Albinet (2018).** *Speciation of organic fraction does matter for source apportionment. Part 1: a one-year campaign in Grenoble (France)*, Science of the Total Environment, Vol 624, pp 1598-1611, 15/05/2018.
- **Waked A., O. Favez, L. Y. Alleman, C. Piot, J.-E. Petit, T. Delaunay, E. Verlinden, B. Golly, J.-L. Besombes, J.-L. Jaffrezo, and E. Leoz-Garziandia (2014)** *Source apportionment of PM₁₀ in a North-Western Europe regional urban background site (Lens, France) using Positive Matrix Factorization and including primary biogenic emissions*, Atmos. Chem. Phys., 14, 3325-3346.
- **Gerboles M., D. Buzica, R.J.C. Brown, R.E. Yardley, A. Hanus-Ilmar, M. Salfinger, B. Vallant, E. Adriaenssens, N. Claeys, E. Roekens, K. Segal, J. Jurasovi, S. Rychlik, E. Rabinak, G. Tanet, R. Passarella, V. Pedroni, V. Karlsson, L. Alleman, U. Pfeffer, D. Gladtko, A. Olschewski, B. O'Leary, M. O'Dwyer, D. Pockeviciute, J. Biel-Cwikowska, J. Tursic (2011)** *Interlaboratory comparison exercise for the determination of As, Cd, Ni and Pb in PM₁₀ in Europe*, Atmospheric Environment, 45, 3488-3499.
- **Aas W., L. Y. Alleman, E. Bieber, D. Gladtko, J.-L. Houdret, V. Karlsson and C. Monies. (2009)** *Comparison of methods for measuring atmospheric deposition of arsenic, cadmium, nickel and lead*, Journal of Environmental Monitoring, 11, 1276-1283.
- <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/caracterisation-chimique-et-etude-de-sources-des-particules-en-martinique-en-2018>