

## 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 PM<sub>10</sub>

Laurent ALLEMAN (LCSQA-IMT Nord Europe)

*Vérifié par Sabine Crunaire*

*Approuvé par Nadine Locoge, le 30/08/2024*

#### SYNTHESE

Comme chaque année, le LCSQA-IMT Nord Europe assure un rôle de conseil, de transfert de compétence et d'expertise vers les AASQA, soit directement ou par l'intermédiaire de groupes de travail dans le domaine de la mesure des polluants métalliques dans les particules atmosphériques. En 2023, ce travail inclut l'analyse de filtres vierges en fibre de quartz précommandés par les AASQA et achetés en lots par SynAir'GIE. Cette année, 1 lot de filtres en fibre de quartz QMA Whatman GE (3000 filtres) a été contrôlé et caractérisé chimiquement vis à vis des teneurs en métaux et métalloïdes. Le lot testé a pu être validé car les teneurs des 4 métaux réglementés mesurés sur les filtres vierges testés étaient du même niveau que les lots des années précédentes. Les filtres ont ensuite été envoyés aux AASQA en fonction de leurs besoins durant l'année.

#### ABSTRACT

Every year, LCSQA-IMT Nord Europe plays an advisory role, transferring skills and expertise to AASQA, either directly or through working groups in the field of metal pollutants measurements in atmospheric particles. In 2023, this work includes the analysis of virgin quartz fiber filters pre-ordered by the AASQA and purchased in batches by SynAir'GIE. This year, 1 batch of QMA Whatman GE quartz fiber filters (3000 filters) was controlled and chemically characterized for its metal and metalloid contents. The new batch tested was validated as its contents for the 4 regulated metals measured on the virgin filters were at the same level as the previous years' batches. The filters were then sent to the AASQAs as needed throughout the year.

## 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 PM<sub>10</sub> 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 Nord Europe, 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 groupes de travail (GT), groupes utilisateurs (GU) et commissions de suivi (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 (CEN 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 requis par les directives ;
- de participer à la valorisation (communications, publications) 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 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant). La quatrième Directive fille de 2004 rend obligatoire la mesure des concentrations, dans les particules PM<sub>10</sub> en suspension dans l'air ambiant, de 3 métaux : As, Cd et Ni ; venant s'ajouter à celle du Pb. Cette mesure doit être réalisée suivant la méthode de référence NF EN 14902 (2005) ou suivant une méthode démontrée équivalente.

Dans le cadre de la mise en œuvre de la surveillance réglementaire sur le territoire français, la mesure des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> est réalisée par l'ensemble des AASQA par le biais de prélèvements en continu ou ponctuels.

Dans ce contexte, le rôle du LCSQA-IMT Nord Europe inclut à la fois du développement métrologique (test de nouveaux supports de prélèvement ou d'instrument d'analyse 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 à l'AASQA, test et/ou distribution de filtres vierges en fibre de quartz, élaboration de filtres de tests impactés de PM<sub>10</sub>, campagnes de comparaison inter-laboratoires tous les trois ans) mais aussi de la veille technologique (méthodologies et instrumentations telles que la mesure des métaux par analyseur automatique utilisant la fluorescence X), de la réflexion sur la stratégie de prélèvement et de la valorisation des mesures, notamment dans le cadre du programme CARA (.

En 2023, les travaux réalisés dans le cadre du LCSQA ont porté sur les actions suivantes :

- Transmission de connaissances techniques auprès des AASQA et des laboratoires associés au travers d'échanges (échanges par email, téléphone).
- Validation de filtres vierges en fibre de quartz fournis par SynAir'GIE. Les filtres ont été

achetés par lots et leurs caractéristiques chimiques ont été contrôlées pour chaque lot sur un sous-échantillon de 10 filtres vierges. En 2023, 1 lot de 3000 filtres en fibre de quartz (QMA Whatman GE) a été validé.

- Transmission de filtres validés (QAT-UP Palflex validés en 2022 et QMA Whatman GE validés en 2023) auprès de 7 AASQA qui en ont fait la demande.
- Participation lorsque nécessaire aux CS « Anticipation » et « Observatoires nationaux » ainsi qu'aux GT « Stratégie BC » et « PUF ».

### 3. TRANSMISSION DES CONNAISSANCES

---

Depuis 1999, grâce à la collaboration des AASQA aux travaux menés dans le cadre de programmes de recherche (ANR, ADEME, PRIMEQUAL, ANSES ...), à la 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, RI-URBANS), le LCSQA-IMT Nord Europe 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 du travail consiste à transférer cette 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, tant pour les mesures sur les aérosols que sur les dépôts atmosphériques, incluant notamment la problématique de la gestion des blancs de filtre.
- 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). La fourniture d'un kit de tests (filtres, matériau de référence certifié) peut être envoyé au laboratoire candidat et les résultats d'analyse sont ensuite évalués par nos soins.
- de façon plus générale, par la rédaction et l'implémentation du Guide méthodologique pour la surveillance de l'As, du Cd, du Ni et du Pb dans l'air ambiant et dans les dépôts atmosphériques (dernière version 2021).
- par le transfert d'expertise dans le cadre des travaux du groupe de travail sur les incertitudes (concernant les métaux), du groupe de travail sur la caractérisation des PM (GT « Carbone suie » et « Particules fines »), de groupe utilisateur (GU Fluo X) et des Commissions de Suivi (CS « Métrologie » et CS « Anticipation »).
- 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 les retombées atmosphériques (GT X43D : X43-014, WG 20 : EN 15841) et sur la normalisation des méthodes d'évaluation des sources de PM (WG44 : *Source apportionment*).
- par la valorisation et la diffusion des travaux du LCSQA-IMT Nord Europe 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 de la comparaison interlaboratoires menée par le 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 à Lens ont donné lieu à une publication sur l'identification des sources de PM<sub>10</sub> en région Nord-Pas de Calais (Waked et al., 2014 ; Belis et al.,

2019), en Rhône Alpes (Srivastava et al., 2018) ou ailleurs en France (Weber et al., 2019 ; Favez et al., 2021).

## 4. FOURNITURES DE FILTRES VIERGES

---

Les particules PM<sub>10</sub>, 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 en quartz 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 peuvent parfois être du même ordre de grandeur que les teneurs dans les PM<sub>10</sub> prélevées dans l'air ambiant (sites ruraux ou périurbains). Le rôle du LCSQA-IMT Nord Europe dans le choix des filtres s'articule autour de deux actions : (1) le contrôle et la validation de filtres en fibre de quartz fournis aux 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 de chaque nouveau lot de fabrication sont réalisés avant leur mise en service par les AASQA.

Ils sont effectués en prélevant aléatoirement dix filtres vierges d'un même numéro de lot qui sont préparés et analysés suivant les préconisations de la norme NF EN 14902 pour l'analyse des métaux dans les PM<sub>10</sub> à savoir : solubilisation par minéralisation au four micro-ondes à 220°C pendant 20 mn en milieu HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (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 H<sub>2</sub>).

### 4.2 Contrôle de filtres en fibre de quartz

Depuis de nombreuses années, l'IMT Nord Europe 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, puis en 2019, du fait des restrictions budgétaires, les AASQA ont acheté elles-mêmes les filtres pour leur consommation propre et envoyé un lot de 10 filtres vierges à tester par le LCSQA-IMT NE avant de les mettre en circulation dans leur région.

Cette solution s'est avérée au global plus onéreuse car la quantité de filtres achetés par chaque AASQA est faible et cela démultiplie les analyses avec des délais également rallongés. Par ailleurs, cette procédure ne permettait plus d'avoir une homogénéité des supports sur l'ensemble de la France, indispensable pour les métaux à faibles teneurs dans l'air.

Depuis 2020, SynAir’GIE propose aux AASQA de procéder à un achat groupé des filtres (Whatman GE ou Pall) dont elles ont besoin auprès de fournisseurs dans le cadre de son activité « achats groupés » mais hors marchés publics (après appel de fonds auprès des AASQA partenaires). Les lots de filtres achetés en 2022 et 2023 par SynAir’GIE ont été analysés et validés à partir d’un échantillon aléatoire de 10 filtres pour chacun des lots par le LCSQA-IMT Nord Europe (moyenne des blancs et calculs de limite de détection/quantification). Les lots ainsi validés ont ensuite été envoyés tout au long de l’année 2023 par le LCSQA-IMT Nord Europe et facturés par SynAir’GIE aux AASQA qui les ont commandés. A noter que toutes les AASQA ne suivent pas cette procédure, quelques-unes continuant d’acheter leurs filtres indépendamment notamment si elles ont des campagnes de grande envergure planifiées.

Les filtres en quartz 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). Ils peuvent être conservés sur plusieurs années tant qu’ils sont tenus parfaitement à l’abri de la poussière. En cas de doute ou de mesure de blancs non probant, il est préférable de recommander un nouveau lot de filtres auprès de SynAir’GIE et du LCSQA – IMT Nord Europe.

Au cours de l’année 2023, nous avons validé les filtres en quartz de 47 mm de diamètre provenant de la marque Whatman GE (1 lot de fabrication QMA). Deux lots de fabrication de la marque Pall (QAT-UP) testés en 2022 sont aussi reportés car ils ont également été distribués au cours de l’année 2023.

Les teneurs moyennes des 4 éléments ciblés sont rappelées, par numéro de lot dans les tableaux 1 à 3.

**Tableau 1 : Filtres vierges en fibre de quartz Whatman QMA - lot 17517313**

	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>
<b><i>Teneur (ng/filtre)</i></b>	<LD <sub>tech</sub>	0,05	20,2	3,9
<b><i>LD<sub>tech</sub> (ng/filtre)</i></b>	0,07	0,03	0,3	0,1
<b><i>LD<sub>méth.</sub> (ng/filtre)</i></b>	0,06	0,23	24,7	1,1

**Tableau 2 : Filtres vierges en fibre de quartz Pall QAT-UP - lot 21410**

	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>
<b><i>Teneur (ng/filtre)</i></b>	<LD <sub>tech</sub>	0,03	27,1	1,3
<b><i>LD<sub>tech</sub> (ng/filtre)</i></b>	0,08	0,02	1,9	0,03
<b><i>LD<sub>méth.</sub> (ng/filtre)</i></b>	0,09	0,06	13,1	0,8

**Tableau 3 : Filtres vierges en fibre de quartz Pall QAT-UP - lot 21586**

	As	Cd	Ni	Pb
<b>Teneur (ng/filtre)</b>	0,13	0,03	11,4	2,0
<b>LD<sub>tech.</sub> (ng/filtre)</b>	0,08	0,02	1,9	0,03
<b>LD<sub>méth.</sub> (ng/filtre)</b>	0,31	0,07	4,5	0,6

Les analyses en V, Cu, Mn, Co, Cr, Zn Sb, Se, Sn et Tl ont également été effectuées sur ces lots de filtres mais ne sont données qu'à titre indicatif (Tableaux 4 à 6) car cela concerne des éléments non réglementés dans l'air ambiant. En effet, la méthode utilisée (NF EN 14902 : 2005 avec mélange HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 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 PM<sub>10</sub>). Des travaux précédents du LCSQA-IMT Nord Europe (rapport LCSQA, 2014) ont toutefois montré qu'à l'exception du Cr, ces éléments étaient mesurables selon la même procédure et l'application de la norme EN 14902 permettait d'obtenir des critères de qualité comparables aux métaux réglementés.

**Tableau 4 : Filtres vierges en fibre de quartz Whatman QMA - lot 17517313**

	V	Cu	Mn	Co	Cr	Zn	Sb	Se	Sn	Tl
<b>Teneur (ng/filtre)</b>	0,5	3,9	19,1	0,7	64,8	110,7	0,8	<LD <sub>tech</sub>	28,9	<LD <sub>tech</sub>
<b>LD<sub>tech.</sub> (ng/filtre)</b>	0,04	0,14	0,2	0,02	0,3	1,1	0,2	0,9	0,4	0,039
<b>LD<sub>méth.</sub> (ng/filtre)</b>	0,2	1,2	5,1	0,2	27,7	237,2	1,4	0,8	4,7	0,034

**Tableau 5 : Filtres vierges en fibre de quartz Pall QAT-UP - lot 21410**

	V	Cu	Mn	Co	Cr	Zn	Sb	Se	Sn	Tl
<b>Teneur (ng/filtre)</b>	0,2	1,9	4,9	0,6	104,1	17,5	86,0	<LD <sub>tech</sub>	<LD <sub>tech</sub>	<LD <sub>tech</sub>
<b>LD<sub>tech.</sub> (ng/filtre)</b>	0,03	0,22	0,1	0,02	0,3	4,3	0,2	0,5	9,7	0,015
<b>LD<sub>méth.</sub> (ng/filtre)</b>	0,2	2,5	3,5	0,3	110,0	62,7	93,4	0,2	4,3	0,007

**Tableau 6 : Filtres vierges en fibre de quartz Pall QAT-UP - lot 21586**

	V	Cu	Mn	Co	Cr	Zn	Sb	Se	Sn	Tl
<b>Teneur (ng/filtre)</b>	0,2	5,0	5,7	0,4	51,5	5,3	67,5	<LD <sub>tech</sub>	<LD <sub>tech</sub>	<LD <sub>tech</sub>
<b>LD<sub>tech</sub> (ng/filtre)</b>	0,03	0,22	0,1	0,02	0,31	4,3	0,16	0,5	9,7	0,015
<b>LD<sub>méth.</sub> (ng/filtre)</b>	0,2	6,6	15,0	0,2	52,7	17,8	69,6	0,23	4,3	0,007

Les limites de détection méthodologique (LD<sub>méth.</sub>) et technique ou analytique (LD<sub>tech.</sub>) 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  $\sigma$  l'écart-type calculé à partir de la moyenne des dix mesures de concentrations. La LD<sub>méth.</sub> reflète surtout les variations des teneurs en élément contenu dans les filtres vierges.

**Tableau 7 : 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 m<sup>3</sup>)**

	As	Cd	Ni	Pb
<b>Valeurs cibles</b>	1008	840	3360	84000
<b>LAT (Seuil min.)</b>	403	336	1680	42000
<b>* Valeurs moyennes en France (ng/filtre)</b>	118±67	67±34	538±218	3746±3360

\* Rapport LCSQA. Prélèvement et analyse des métaux dans les particules en suspension dans l'air ambiant, 2007.

Dans le tableau 7, les valeurs cibles des 1<sup>ère</sup> et 4<sup>ème</sup> directives ont été multipliées par 168 (volume d'une semaine de prélèvement à 1 m<sup>3</sup>/h) pour être exprimées en ng/filtre plutôt qu'en ng/m<sup>3</sup>. 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. Elles sont toutefois plus variables et plus proches des valeurs moyennes mesurées en France en site urbain de fond dans le cas du Nickel, ce qui montre l'importance du respect des procédures de gestion et de stockage des filtres neufs.

## 5. CONCLUSIONS

Les travaux réalisés en 2023 par le LCSQA-IMT Nord Europe ont porté sur la validation de filtres vierges en fibre de quartz achetés par SynAir'GIE dans le cadre de son activité « achats groupés » puis transmis aux AASQA, permettant d'obtenir une assurance qualité des filtres

utilisés pour la surveillance des métaux réglementés. L'utilisation de la centrale d'achat de SynAir'GIE permet de simplifier la procédure, de réduire les coûts (prix de gros) et de maintenir l'assurance qualité rendue indispensable au vu des faibles teneurs en métaux actuellement mesurées dans l'air au niveau national. Un nouveau lot de filtre QMA (Whatman GE) a été testé et validé cette année car les teneurs pour les 4 métaux réglementés mesurés sur les filtres vierges étaient du même niveau que les lots des années précédentes. Deux lots de filtres QAT-UP testés l'an dernier ont également été distribués. Cette année, 7 AASQA ont reçu des filtres validés.

## 6. 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 Aj, S. Pillon, P. Pokorna, P. Prati, D. Salameh, C. Samara, L. Samek, D. Saraga, S. Sauvage, M. Schaap, F. Scotto, K. Sega, G. Siour, R. Tauler, G. Valli, R. Vecchi, E. Venturini, M. Vestenius, A. Waked, E. Yubero, (2019). *Evaluation of receptor and chemical transport models for PM<sub>10</sub> source apportionment*, Atmospheric Environment X; Vol 5, Janv. 2020.**
- **Favez, O., Weber, S., Petit, J.E., Alleman, L.Y., Albinet, A., Riffault, V., Chazeau, B., Amodeo, T., Salameh, D., Zhang, Y. et al.** Overview of the French Operational Network for In Situ Observation of PM chemical composition and Sources in Urban Environments (CARA Program). *Atmosphere* 2021, 12, 207. <https://doi.org/10.3390/atmos12020207>.
- **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 PM<sub>10</sub> 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 PM<sub>10</sub> 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. Sega, 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-C wikowska, 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. Karlssone, C. Monies** (2009). *Comparison of methods for measuring atmospheric deposition of arsenic, cadmium, nickel and lead*, Journal of Environmental Monitoring, 11, 1276-1283.
- Rapport LCSQA (2007). Prélèvement et analyse des métaux dans les particules en suspension dans l'air ambiant.
- Rapport LCSQA (2009). Surveillance des métaux.
- Guide méthodologique pour la surveillance de l'As, du Cd, du Ni et du Pb dans l'air ambiant et dans les dépôts atmosphériques (2021).
- Rapport LCSQA (2014). Surveillance des métaux dans les particules en suspension.