



ADEME – Muséum national d'histoire naturelle

Pollution atmosphérique par les métaux en France

Dix ans de biosurveillance des retombées

Catherine Rausch de Traubenberg,
Laurence Galsomiès, Yann Martinet

Pollution atmosphérique par les métaux en France

Dix ans de biosurveillance des retombées

Catherine Rausch de Traubenberg¹, Laurence Galsomiès²
et Yann Martinet³

¹ Muséum national d'histoire naturelle (MNHN), Paris.

² Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), Paris.

³ Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA), Paris.

Illustrations de couverture (de gauche à droite) :

1. Prélèvement d'échantillon de mousse (*Scleropodium purum*), sur un site choisi pour la campagne 2006 du dispositif BRAMM dédié à la biosurveillance de la pollution atmosphérique métallique par les mousses, en proximité de la placette forestière EPC87 du réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (RENECOFOR) (© S. Leblond, MNHN).
2. De nombreuses activités humaines génèrent des émissions atmosphériques susceptibles d'impacter les écosystèmes. De fait, ce cliché ne vise pas à stigmatiser une source d'émissions en particulier (© CITEPA).

Imprimé en France
ISBN : 978-2-7598-0725-3

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2013



Les auteurs

Catherine Rausch de Traubenberg est maître de conférences au Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) de Paris et chargée de conservation de l'herbier de Bryophytes. Ses travaux de recherche portent sur l'utilisation des mousses comme bioindicateurs des pollutions de l'air et de l'eau. Elle a été responsable du programme BRAMM de 2000 à 2010.

Laurence Galsomès est docteur *ès Sciences* en sciences de l'environnement et a rejoint en 2000 l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) à Paris, après avoir œuvré au développement du dispositif BRAMM de 1995 à 1999. Ses activités dans le domaine de l'air concernent, notamment, les impacts de la pollution atmosphérique sur les écosystèmes et le patrimoine bâti. Elle participe aussi à la diffusion et à la valorisation des données françaises sur les retombées atmosphériques et les niveaux de charges critiques auprès de la Commission économique pour l'Europe des Nations unies pour le compte du ministère de l'écologie. Elle est par ailleurs membre de la Commission AFNOR T95b et a contribué à la publication des premières normes sur la biosurveillance de la qualité de l'air, parmi lesquelles la NF X43-902 sur la biosurveillance passive de la qualité de l'air à l'aide de mousses autochtones. Pour finir, elle a coordonné la rédaction du présent ouvrage.

Yann Martinet est docteur *ès Sciences* en chimie de la structure et de la dynamique des systèmes réactifs. Il rejoint le CITEPA en 2005 après avoir mis au point le cadastre des émissions de polluants atmosphériques de la Région Nord-Pas de Calais à l'École des mines de

Douai. Il a contribué au développement des inventaires nationaux spatialisés français et tunisien et travaille notamment à optimiser le système national de déclaration électronique des rejets et transferts de polluants des installations classées. Il participe également à la production des inventaires français des émissions dont il assure la mise en œuvre et le suivi technique des transports maritime, fluvial et ferroviaire auprès de la Commission européenne et des Nations unies pour le compte du ministère de l'écologie.



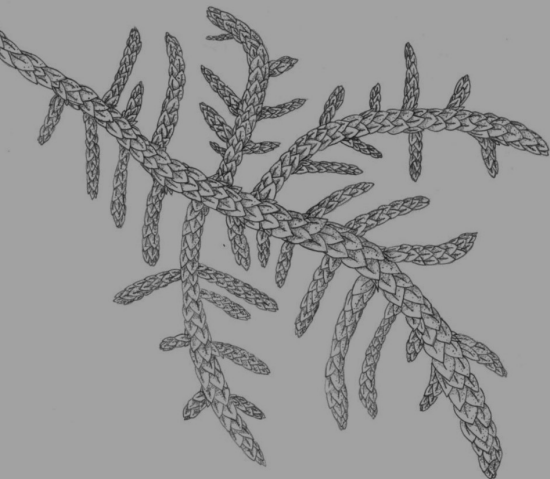
Sommaire

Les auteurs	III
Préface	1
Avant-propos	5
Résumé	7
Remerciements	9
Introduction	11
Chapitre 1 • La pollution atmosphérique et métallique	15
1.1 La pollution atmosphérique – Généralités	15
1.2 La pollution atmosphérique métallique	18
1.3 Biosurveillance de la pollution métallique	20
1.4 Le dispositif BRAMM	21

Chapitre 2 • Résultats des campagnes 1996, 2000 et 2006 du dispositif BRAMM	23
2.1 Aluminium	23
2.2 Arsenic	28
2.3 Cadmium	33
2.4 Chrome	39
2.5 Cuivre	45
2.6 Fer	50
2.7 Mercure	56
2.8 Nickel	62
2.9 Plomb	68
2.10 Antimoine	74
2.11 Vanadium	79
2.12 Zinc	84
Chapitre 3 • Discussion générale et conclusion	91
3.1 Avantages et inconvénients de la méthode de biosurveillance des métaux	91
3.2 Répartition spatiale des dépôts atmosphériques métalliques en France en 2006 et sources d'émissions probables	92
3.3 Comparaison des dépôts atmosphériques métalliques en France et en Europe en 2006	93
3.4 Évolution des dépôts et des émissions entre 1996 et 2006 en France et en Europe	93
3.5 Toxicité des métaux et risque sanitaire	96
Annexe 1 • Protocole de collecte et d'analyse (campagne BRAMM 2006)	99
A1.1 Les sites	99
A1.2 Prélèvements	101
A1.3 Espèces de mousse	101
A1.4 Préparation et analyse	102
A1.5 Utilisation des données d'émission pour l'interprétation des résultats	102
Annexe 2 • Comparaison des protocoles (campagnes 1996, 2000 et 2006)	103
Annexe 3 • Évaluation des incertitudes et validité des résultats	107
A3.1 Validité analytique	107
A3.2 Incertitude globale	109
A3.3 Comparaison inter-campagnes	109
Annexe 4 • Conventions de représentation et calculs statistiques	111
A4.1 Valeurs atypiques	111
A4.2 Représentation par les boîtes à moustaches	112

A4.3 Représentations cartographiques	113
A4.4 Calculs statistiques	114
Annexe 5 • Résultats des campagnes 1996, 2000 et 2006 du dispositif BRAMM	115
Annexe 6 • Évolution des dépôts estimés dans les mousses de 1996 à 2006	117
Annexe 7 • Statistiques élémentaires relatives aux différentes régions françaises	119
Annexe 8 • Émissions en France	155
A8.1 Genèse des données d'émissions atmosphériques	155
A8.2 Exploitation des données d'émissions dans le cadre du BRAMM	156
Annexe 9 • Liste des abréviations des pays selon le code ISO	159
Références bibliographiques	161
Définitions	165
Liste des abréviations	169

Vj k' r ci g' l' p v g p v k q p c m (' h g h ' d i e p m



Préface

Par François Ramade¹

La pollution atmosphérique par des éléments toxiques (comme des métaux et semi-métaux – tels l'arsenic) représente une menace pour l'hygiène publique dans les zones urbaines, ainsi qu'une cause majeure de contamination pour les écosystèmes, notamment terrestres, mais aussi, fait souvent méconnu, pour les milieux aquatiques continentaux et littoraux. En outre, elle peut constituer dans certaines régions et pour certains éléments, *via* les retombées, une source majeure de contamination des terres cultivées. La croissance des émissions métalliques a été continue avec l'expansion des activités industrielles. Ce phénomène a atteint une telle ampleur dans les décennies de la fin du dernier siècle que des réglementations et des conventions internationales destinées à les réduire ont été adoptées par les pays membres de l'OCDE, l'Union européenne et certains états membres du PNUE.

La nécessité de connaître, de façon précise, l'importance de cette pollution atmosphérique et des retombées consécutives, ainsi que son évolution spatio-temporelle, s'est très vite manifestée, de même que la nécessité de mettre en œuvre une surveillance permanente grâce à une

1. Professeur émérite d'écologie et de zoologie à la faculté des sciences d'Orsay (Université de Paris-Sud).
Adresse : Laboratoire Écologie Systématique Évolution, UMR CNRS 8079, Bât 362, Faculté des sciences, Université de Paris-Sud, 91405 Orsay.

méthode dont le coût soit raisonnable. Il est rapidement apparu que seule une biosurveillance*² permettait de répondre à ces exigences.

Les usages potentiels de cryptogames*, tant terrestres qu'aquatiques, comme bioindicateurs* de pollution ont été découverts au cours du XIX^e siècle. Ainsi, dès 1859, le britannique Grindon, suivi en 1862 par le Finlandais Nylander, ont pu noter un rapport entre la raréfaction des peuplements de lichens épiphytes dans les parcs des villes et la hausse de la pollution atmosphérique due à l'usage du charbon. De même, l'aptitude des bryophytes* à bioconcentrer les éléments, qu'ils soient toxiques ou organiques persistants, a été mise en évidence de longue date. Cette propension des mousses à la bioconcentration des éléments, notamment métalliques, a conduit à leur utilisation en biosurveillance* environnementale dès les années 1960.

L'accroissement des préoccupations relatives à la pollution atmosphérique transfrontière et à longue distance, se traduisant par exemple au cours des années 1970 par l'observation notamment au Nord de la Laponie de la baisse de deux unités pH des pluies, a conduit l'Union européenne à développer un programme sur cette thématique dans le cadre de la convention de Genève.

Ce programme regroupe une trentaine de pays dont la France et a recours aux capacités de bioaccumulation des mousses terrestres, naturellement présentes dans l'environnement, pour estimer les retombées atmosphériques métalliques. Il prévoit une campagne européenne de biosurveillance tous les cinq ans, dont l'objet est de comparer spatialement et temporellement les niveaux des dépôts atmosphériques.

Le présent ouvrage a pour objet d'exposer les acquis obtenus par le dispositif français BRAMM lors de la campagne européenne de 2006. Il constitue une synthèse méthodique et détaillée des principaux résultats auxquels a conduit cette biosurveillance* approfondie de la pollution atmosphérique par les éléments métalliques dans notre pays. Il se présente sous la forme d'une monographie où les résultats sont d'abord exposés élément par élément, suivis d'une discussion générale et d'une conclusion. D'importantes annexes apportent des éléments relatifs aux matériels et aux méthodes utilisés pour mener à bien ces recherches, ainsi que des compléments sur les analyses et les statistiques afférentes aux éléments recherchés et sur leurs émissions en France.

Les travaux du dispositif BRAMM exposés dans cet ouvrage constituent une avancée remarquable dans la connaissance de la pollution atmosphérique diffuse et longue distance par les métaux dans notre pays.

Ces résultats mettent en évidence une tendance à la baisse en France de la pollution atmosphérique pour cinq éléments métalliques, ce qui résulterait des mesures volontaristes prises depuis deux décennies pour réduire leurs émissions. Fait surprenant vis-à-vis du contexte européen, la France se classe parmi les pays les moins exposés d'Europe pour l'antimoine, le cadmium et le zinc, alors que ces éléments toxiques constituent des polluants prévalents d'engrais chimiques. À l'opposé et pour des raisons méconnues, notre pays se positionne pour d'autres métaux très toxiques parmi les pays européens les plus contaminés (notamment en arsenic et mercure).

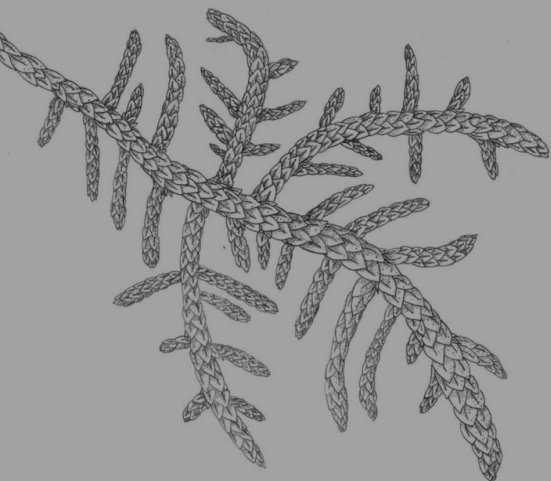
2. Les mots suivis d'un astérisque sont définis dans le glossaire à la fin de l'ouvrage.

En définitive, cet ouvrage de Catherine Rausch de Traubenberg, Laurence Galsomiès et Yann Martinet constitue une remarquable synthèse des résultats obtenus en France lors des campagnes faites par l'observatoire BRAMM. Sa rédaction est précise avec un style impeccable et sa lecture est facile malgré un sujet très « technique ». Il apporte, grâce aux cartographies proposées, une connaissance détaillée sur le niveau des contaminations par les métaux à l'échelle nationale et des informations locales donnant à apprécier les tendances spatio-temporelles pour chacun des éléments ayant fait l'objet de cette biosurveillance* depuis 1996.

En conclusion, sa lecture intéressera quiconque concerné, au plan professionnel, par la prévention des pollutions et nuisances et/ou par la lutte contre les pollutions, mais aussi un lectorat plus étendu qui, d'une façon ou d'une autre, se préoccupe des problèmes écotoxicologiques dans l'environnement.

Enfin, nous en conseillerons aussi la lecture aux étudiants qui suivent un cursus de master en sciences environnementales et, de façon plus générale, aux membres d'associations qui sont impliqués dans la protection de l'hygiène publique pour l'air et la préservation de la nature.

Vj k' r ci g' l' p v g p v k q p c m (' h g h ' d i e p m



Avant-propos

Par José Caire¹

Disposer de données d'observation accessibles et fiables, que ce soit pour la recherche, l'expertise ou le benchmark, est nécessaire pour identifier des solutions visant à améliorer la qualité de nos milieux, mobiliser des acteurs sur les enjeux environnementaux et énergétiques et favoriser la prise de décision.

Dans le domaine de la pollution de l'air, l'ADEME a œuvré à la mise en place de l'observatoire BRAMM², dédié à la biosurveillance des retombées atmosphériques métalliques et azotées, et participe à son pilotage.

L'analyse du grand nombre de données recueillies par les trois campagnes d'observation nationales conduites par cet observatoire correspond à dix années de surveillance des dépôts atmosphériques.

L'ADEME a souhaité l'édition de cette nouvelle publication, la troisième sur le sujet, car elle donne pour les métaux les premières tendances temporelles des niveaux de dépôts atmosphériques, et dresse pour le territoire français métropolitain, un bilan, des zones les plus exposées au niveau de fond de la pollution métallique. On y voit également que l'exposition du milieu est, selon les métaux, plus marquée dans certaines zones que dans d'autres, ce qui permet de

1. Directeur Villes et Territoires Durables de l'ADEME.

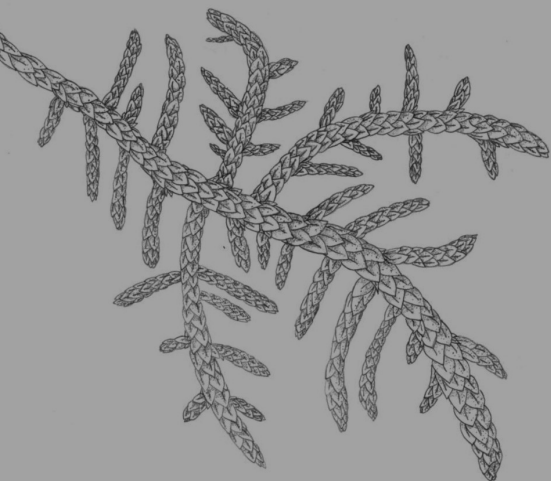
2. Biosurveillance des retombées atmosphériques des métaux par les mousses.

distinguer des tendances spatiales pour les dépôts atmosphériques. D'autre part, le constat fait par l'observatoire BRAMM montre que les dépôts estimés grâce aux mousses ont baissé, jusqu'à 50 % pour certains métaux, alors que pour d'autres contaminants les niveaux sont stables ou à la hausse.

Ces résultats montrent l'intérêt de rester vigilant pour le suivi des métaux, ceux en particulier dont les niveaux de fond augmentent.

Des apports d'origine transfrontière et à longue distance sont également mis en lumière grâce à ces travaux. Ceci souligne que les actions de réduction et de prévention doivent être poursuivies également aux échelles européenne voire continentale.

Enfin, pour certains des métaux discutés dans cet ouvrage, les évolutions montrent une augmentation générale et diffuse des niveaux de retombées atmosphériques, ce qui confirme la nécessité de mesures multi-sectorielles de réduction des émissions.



Résumé

Le dispositif BRAMM (*biosurveillance des retombées atmosphériques métalliques par les mousses*) utilise les capacités de bioaccumulation des mousses terrestres naturellement présentes dans l'environnement pour estimer les retombées atmosphériques métalliques en France. Ce dispositif est intégré au niveau européen aux travaux de la convention de Genève (1979), qui regroupe une trentaine de pays, sur la pollution atmosphérique transfrontière et à longue distance. Les données sont utiles au programme du PIC Végétation, au sein du groupe de travail sur les effets de la commission économique pour l'Europe des Nations unies (ONU-CEE/GTE/PIC Végétation), qui prévoit une campagne européenne de biosurveillance tous les cinq ans.

Il s'agit d'une évaluation indirecte et relative, c'est-à-dire qu'elle permet de comparer spatialement et temporellement les niveaux des dépôts, mais ne renseigne pas sur les dépôts réels.

Trois campagnes BRAMM ont été menées, en 1996, 2000 et 2006, avec le soutien de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME). La première campagne a été mise en œuvre par l'université Pierre et Marie-Curie (Paris 6), et les deux dernières par le Muséum national d'histoire naturelle. Une quatrième campagne nationale a aussi été menée en 2011. Ce document est dédié à la troisième campagne BRAMM (2006), il fait suite à deux précédents ouvrages consacrés aux campagnes de 1996 (Galsomiers *et al.*, 1999) et 2000 (Gombert *et al.*, 2005).

Cinq espèces de mousses ont été collectées (*Pseudoscleropodium purum*, *Hypnum cupressiforme*, *Thuidium tamariscinum*, *Pleurozium schreberi* et *Hylocomium splendens*) en 2006 sur 536 sites répartis de façon homogène sur le territoire français. Les échantillons ont été préparés selon la méthode de référence française (adaptation de la méthode de référence européenne) normalisée en France, puis en Europe. Les douze éléments métalliques suivants ont été dosés : aluminium, antimoine, arsenic, cadmium, chrome, cuivre, fer, mercure, nickel, plomb, vanadium et zinc (l'azote et le césium 137 ont été analysés mais ne sont pas présentés).

Les dépôts atmosphériques ont été cartographiés au niveau du territoire national pour ces 12 éléments métalliques, ce qui a permis d'identifier les zones les plus exposées. De plus, leurs variations entre 1996 et 2006, soit dix années d'évolution, ont été suivies pour la première fois en France et comparées aux tendances européennes pendant la même période.

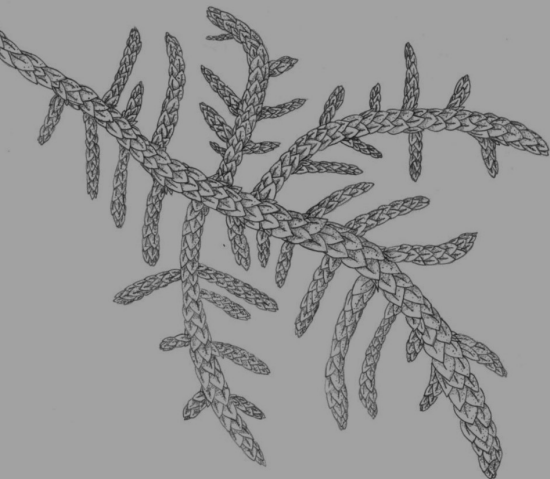
En 2006, le niveau des dépôts français est moyen par rapport aux autres pays européens pour la moitié des éléments analysés, soit l'aluminium, le chrome, le cuivre, le fer, le nickel, le plomb et le vanadium. La France est classée parmi les pays les moins exposés d'Europe pour l'antimoine, le cadmium et le zinc, et se positionne parmi les pays les plus chargés pour l'arsenic et le mercure.

Les zones les plus exposées en 2006 aux contaminations métalliques d'origine anthropique sont principalement localisées dans la moitié est et surtout dans le quart nord-est de la France. Grâce à l'étude du rapport entre certains éléments et l'aluminium, des apports naturels d'origine terrigène ont été mis en évidence pour le chrome, le fer, le nickel et le vanadium, surtout dans le Sud-Est de la France.

Trois tendances d'évolution des dépôts se dessinent entre 1996 et 2006 : (1) les dépôts métalliques sont en baisse pour l'antimoine, le cadmium, le chrome, le plomb et le zinc ; (2) ils sont stables pour le cuivre et le vanadium ; (3) ils sont en augmentation pour l'arsenic et le mercure, deux éléments particulièrement toxiques, ainsi que pour l'aluminium, le fer et le nickel.

Les dépôts estimés dans les mousses ont été comparés aux émissions atmosphériques recensées. Leurs évolutions entre 1996 et 2006 sont concordantes pour le cuivre (émissions et dépôts relativement stables), ainsi que pour le cadmium, le chrome, le plomb et le zinc (émissions et dépôts en baisse), avec cependant une diminution des émissions plus importante que celle des dépôts pour ces quatre derniers éléments. Les variations sont en revanche, opposées pour l'arsenic, le mercure et le nickel (baisse des émissions, augmentation des dépôts).

L'influence de diverses sources d'émission pourrait expliquer la forte exposition aux métaux de certaines zones du territoire, ainsi que les écarts observés entre les variations des émissions recensées et des dépôts estimés. Il est ainsi mis en lumière le rôle probable de sources de pollution au niveau local et régional : apports anthropiques des secteurs industriels (métallurgie, combustion fossile, industrie chimique) ou agricoles (utilisation de pesticides et de fongicides), apports terrigènes naturels (érosion du sol, vents sahariens), remise en suspension dans l'air de métaux issus des sols contaminés d'anciennes mines, apports transfrontières de Belgique et d'Allemagne. De plus, la forte rémanence de certains métaux (arsenic, plomb, antimoine) dans les sols peut être à l'origine de la persistance de zones fortement chargées et d'un décalage entre réduction des émissions et diminution de la contamination de l'environnement.



Remerciements

Les résultats de la campagne 2006 présentés dans cet ouvrage sont le fruit d'une collaboration entre de nombreuses personnes et des institutions que nous souhaitons remercier.

Tout d'abord, Sébastien Leblond (Muséum national d'histoire naturelle) qui a assuré la coordination entre les équipes et le réseau européen, la collecte des données ainsi que le traitement des résultats. Il a réalisé également les figures et les cartes et rédigé la partie technique du présent ouvrage. Nous le remercions tout particulièrement car ce document n'aurait pu voir le jour sans son travail.

Nous exprimons toute notre gratitude à François Ramade, qui a accepté sans hésiter de rédiger la préface de cet ouvrage.

Nous adressons également nos remerciements à toutes les personnes qui ont collaboré à ce travail.

Pour le suivi du programme BRAMM : Jacques Bardat (Muséum national d'histoire naturelle), Patrice Coddeville (École des mines de Douai), Sandrine Gombert (Université de Bordeaux 3), Erwin Ulrich (Office national des forêts). Ils ont apporté leur compétence et leurs précieux conseils tout au long du travail de préparation et d'analyse des résultats.

Pour la relecture : Sandrine Gombert (Université de Bordeaux 3), Patrice Coddeville (École des mines de Douai), Nathalie Poisson (ADEME) et Manuel Nicolas (Office national des

forêts). Leurs critiques constructives ont contribué grandement à l'amélioration de ce manuscrit.

Pour l'aide à l'interprétation des résultats du mercure : Daniel Cossa (IFREMER de Nantes), Philippe Cambier et Enrique Barriuso (INRA AgroParisTech).

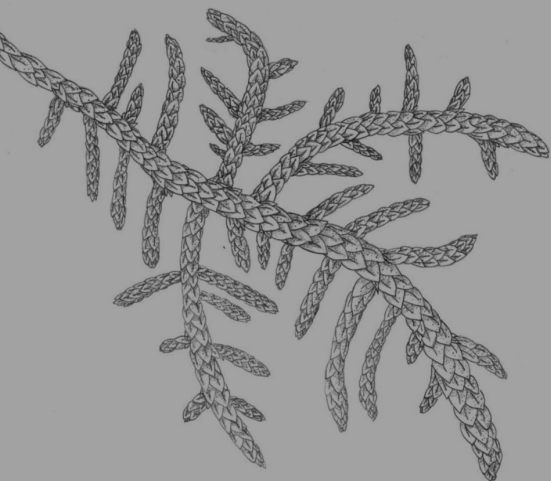
Pour la récolte des mousses (Muséum national d'histoire naturelle) : Matthieu Chabanon, Florence Delay, Prisca Leblond, Sébastien Leblond, Élodie Liot, Thomas Millerand et Florian Mombrial.

Pour la préparation des mousses (Muséum national d'histoire naturelle) : Alain Carré, Philippe Latger, Florence Niel, Carole Vercoutère et Thomas Millerand.

Pour le dosage des métaux : MicroPolluants Technologie S.A. (Thionville) pour le dosage de l'aluminium, de l'arsenic, du cadmium, du chrome, du cuivre, du fer, du nickel, du plomb, de l'antimoine, du vanadium et du zinc, et Daniel Cossa (IFREMER de Nantes) pour le dosage du mercure.

Le dispositif de Biosurveillance des retombées atmosphériques métalliques par les mousses (BRAMM) a été lancé en 1996 par l'université Pierre et Marie Curie (Paris 6) et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), qui en assure depuis la coordination générale et le soutien financier sous la responsabilité de Laurence Galsomiès.

À ce jour, quatre campagnes de biosurveillance ont été mises en œuvre. La première campagne (1996) a été effectuée par l'Université de Paris 6 sous la responsabilité scientifique et technique de Laurence Galsomiès et Marie-Agnès Letrouit. Les trois campagnes suivantes ont été mises en place par le Muséum national d'histoire naturelle sous la responsabilité de Sandrine Gombert et Catherine Rausch de Trautenberg pour la campagne 2000, Sébastien Leblond et Catherine Rausch de Trautenberg pour la campagne 2006, et enfin Xavier Laffray et Sébastien Leblond pour la campagne 2011.



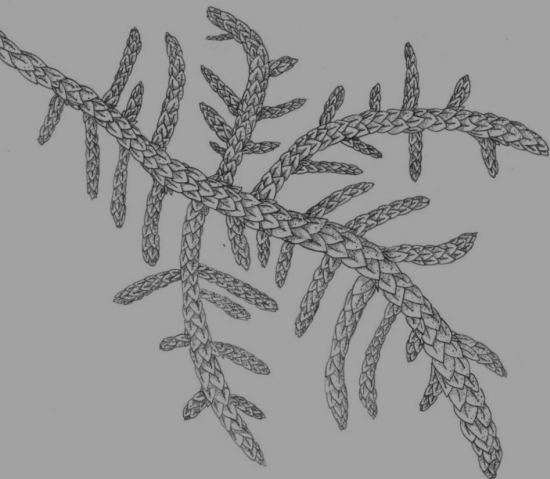
Introduction

Les activités humaines s'étant intensifiées ces dernières décennies, les émissions métalliques d'origine anthropique ont pris une importance grandissante par rapport aux émissions naturelles, en particulier depuis les années 1970 avec le développement de certains secteurs (industrie et transport pour les principaux). Les métaux sont émis dans l'air par diverses sources, puis transportés sur des distances plus ou moins grandes, pour finir par se déposer au niveau des sols et des écosystèmes. Ces dépôts* sont constitués de particules ou d'aérosols, solides ou liquides. Le mercure, transporté sous forme gazeuse, fait figure d'exception parmi les métaux et peut circuler à l'échelle planétaire.

Tous les éléments métalliques sont toxiques et pour certains à faibles doses (antimoine, arsenic, cadmium, mercure et plomb). Les éléments métalliques doivent faire l'objet de surveillances particulières car, étant élémentaires, ils ne sont pas biodégradables et peuvent être persistants dans les écosystèmes.

La nécessité de protéger la santé humaine et celle des écosystèmes a conduit les Nations unies à établir des protocoles internationaux de réduction des émissions atmosphériques. L'adoption de ces protocoles doit être accompagnée d'un suivi de la pollution atmosphérique et de ses effets sur les écosystèmes. Il est donc indispensable de s'appuyer sur un réseau d'observation de la qualité de l'air pour évaluer les efforts de réduction de la pollution atmosphérique. En ce qui concerne les métaux, ce sont les dépôts, plutôt que les teneurs dans l'air, qui ont un effet sur les écosystèmes. En France, peu de stations instrumentées pour la surveillance

Vj k' r ci g' l' p v g p v k q p c m (' h g h ' d i e p m



Liste des abréviations

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

BRAMM : Dispositif français de biosurveillance des retombées atmosphériques métalliques par les mousses

CAFE : *Clean Air for Europe* (programme de la Commission européenne)

CEA : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

CITEPA : Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique

CNRS : Centre national de la recherche scientifique

EMEP : *European Monitoring and Evaluation Programme* (programme de coopération européen chargé de surveiller et d'évaluer les transports des polluants atmosphériques sur de longues distances)

E-PRTR : *European Pollutant Release and Transfer Register*
[<http://prtr.ec.europa.eu/pgAbout.aspx>]

GTE : Groupe de travail sur les effets de la commission économique pour l'Europe des Nations unies (en anglais – WGE Working Group on Effects)

ICP-AES : spectrométrie d'émission atomique par plasma à couplage inductif

ICP-MS : spectrométrie de masse couplée à une torche à plasma