

Dépôts de polluants atmosphériques en Suisse

Analyses chimiques des mousses de 1990 à 2015

Résumé de la publication «*Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz*»
www.bafu.admin.ch/uz-1818-d



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Résumé

Depuis 1990, la contamination de l'environnement par des métaux lourds est étudiée au moyen d'analyses chimiques des mousses, dans le cadre du Programme international concerté relatif aux effets de la pollution atmosphérique sur la végétation naturelle et les cultures (ICP-Vegetation, <http://icpvegetation.ceh.ac.uk>) établi par la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP). Dans le cadre de sa participation au projet «Monitoring of atmospheric heavy metal and nitrogen deposition in Europe using bryophytes» (Analyse de bryophytes pour surveiller les dépôts atmosphériques des métaux lourds et de l'azote en Europe), la Suisse a, en 2015 tout comme en 1990, 1995, 2000, 2005 et 2010, évalué les dépôts atmosphériques de différents métaux, de métalloïdes, et, à partir de 2005, les dépôts d'azote dans certaines mousses (*Hypnum cupressiforme* ou *Pleurozium schreberi*) utilisées comme bioindicateurs de l'accumulation. En 2010 et 2015, quelques pays, dont la Suisse, ont également déterminé les teneurs en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et, en 2015, en biphényles polychlorés (PCB) dans les mousses. En 2015, outre la Suisse, 24 pays d'Europe occidentale et centrale, 8 pays asiatiques ainsi que le Canada, ont participé au projet. Parmi ces pays, 12, dont la Suisse, ont déterminé non seulement les concentrations en métaux, mais aussi la charge en azote et 6, la charge en polluants organiques persistants (POP).

Les mousses conviennent particulièrement bien pour ce type d'analyses parce qu'elles absorbent l'eau et tous les nutriments, de même que les polluants, non pas par les racines, mais directement de l'atmosphère. Le prélèvement des échantillons a été effectué à une distance d'au moins 300 m des routes ou des agglomérations afin de déterminer la charge à une certaine distance des sources d'émission et non les pics locaux de pollution. En montagne, les emplacements choisis pour l'échantillonnage se situaient à des hauteurs comprises entre 400 et 600 m au-dessus du niveau de la vallée, mais toujours au-dessous de la limite de la forêt. Les prélèvements ont été effectués sur des sites ouverts dans des forêts (surfaces de régénération), des marais ou des alpages. Cinq échantillons partiels ont été recueillis à chaque emplacement.

Les échantillons de mousses ont été préparés (retrait des aiguilles et autres corps étrangers, sélection des pousses des trois dernières années) et analysés, après minéralisation dans un four à micro-ondes, par spectrométrie de masse (ICP-MS) pour les métaux, par DMA 80 pour le mercure, par HPLC/FLD pour les HAP et les PCB, et par analyse élémentaire avec Vario Pyro cube pour l'azote. Le contrôle qualité a été assuré en analysant des valeurs à blanc, du matériel de référence ainsi que des échantillons de contrôle, et en procédant par déterminations multiples.

Métaux

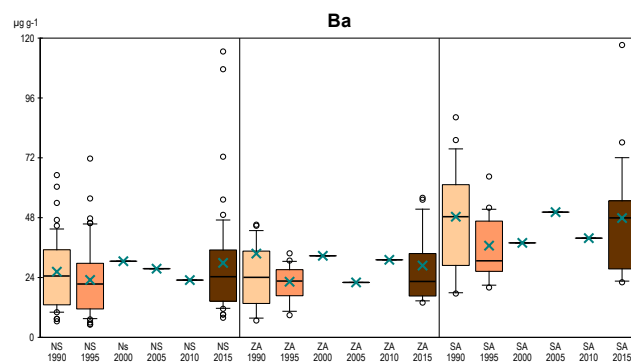
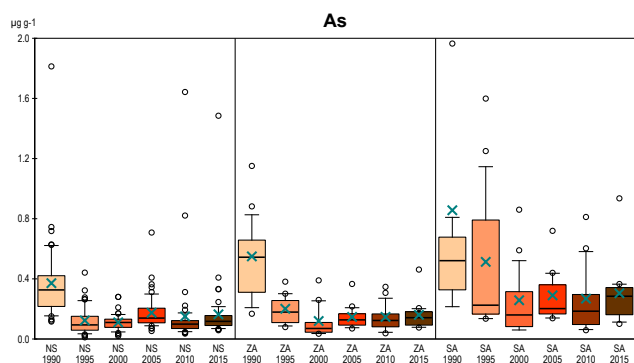
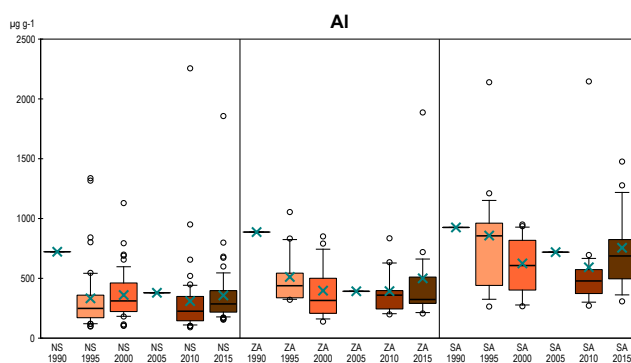
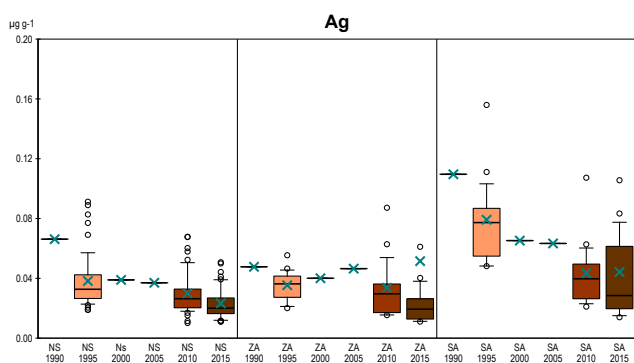
Les analyses ont porté sur les éléments suivants : argent (Ag), aluminium (Al), arsenic (As), bismuth (Bi), cadmium (Cd), cobalt (Co), chrome (Cr), cuivre (Cu), fer (Fe), mercure (Hg), molybdène (Mo), nickel (Ni), plomb (Pb), antimoine (Sb), sélénium (Se), vanadium (V) et zinc (Zn). De 1990 à 2015, le baryum (Ba), le césium (Cs), le strontium (Sr), le thallium (Tl) et l'uranium (U) ont en outre été analysés dans des échantillons mélangés régionaux. Pour l'arsenic, le cadmium, le cuivre, le nickel, le plomb et le zinc, les concentrations dans les mousses (médiane Plateau, Alpes du nord et Alpes du sud) ont pu être comparées aux dépôts mesurés aux stations Payerne, Rigi-Seebodenalp et Magadino du Réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL). La correspondance entre les concentrations dans les mousses et les dépôts précités est bonne. Lorsqu'on compare l'évolution des teneurs en cadmium, mercure et plomb dans les mousses et les émissions de ces substances en Suisse, on observe des baisses parallèles.

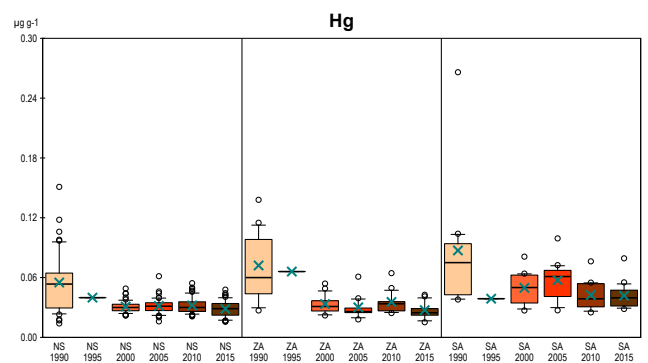
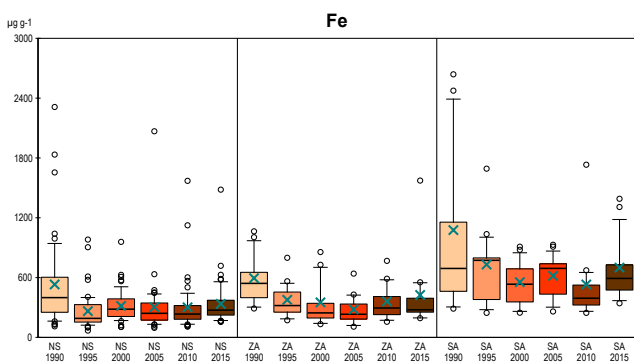
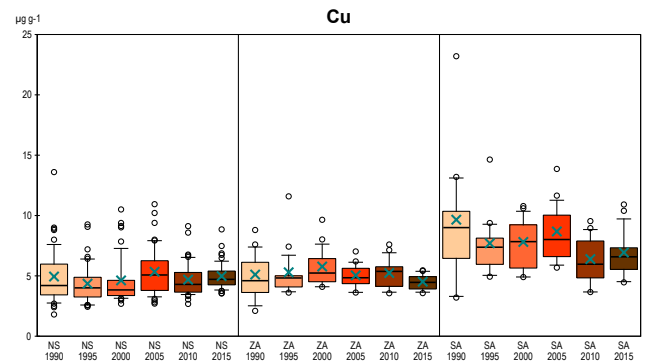
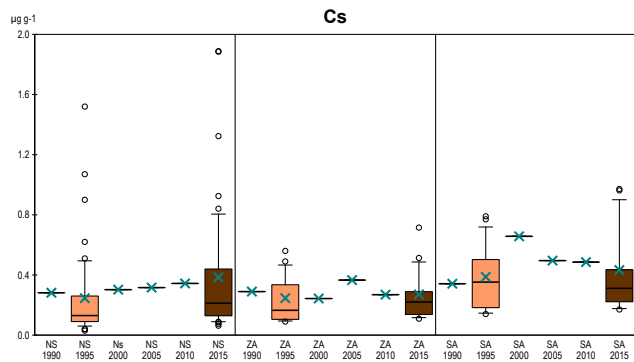
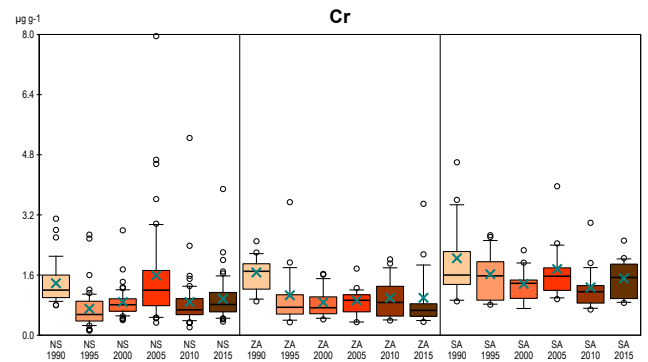
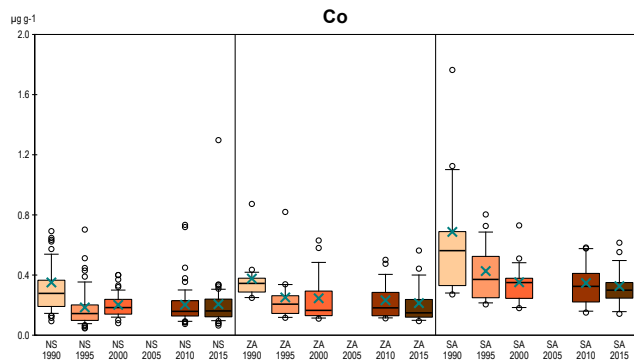
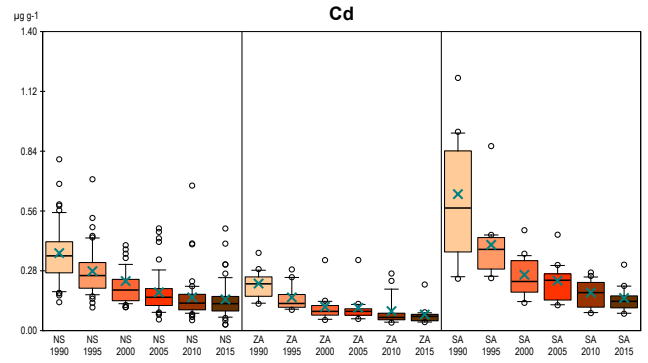
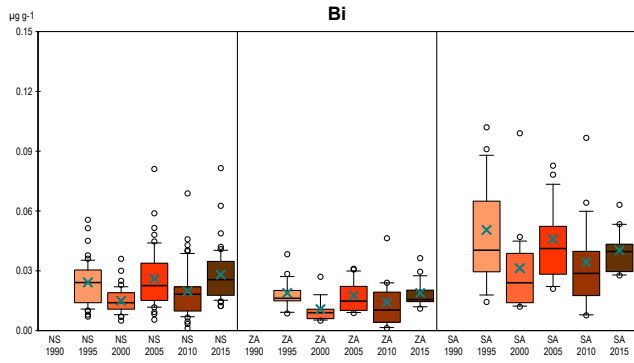
En 2015, comme pour les cinq périodes de mesure antérieures, la plupart des éléments examinés atteignaient la médiane la plus élevée dans les Alpes du sud (fig. 1). Cette situation est due tant aux émissions produites en Suisse qu'aux fortes précipitations, à la topographie et au transport de polluants de l'agglomération milanaise et de la plaine du Po. Les différences relevées entre le Jura, le Plateau et les Alpes du nord étant généralement faibles, ces régions sont regroupées dans le présent chapitre en une seule zone, à savoir la Suisse septentrionale. Bien que les Alpes du nord et le Jura soient peu urbanisés, les

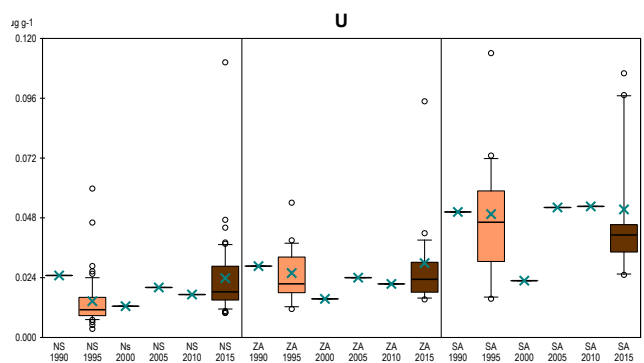
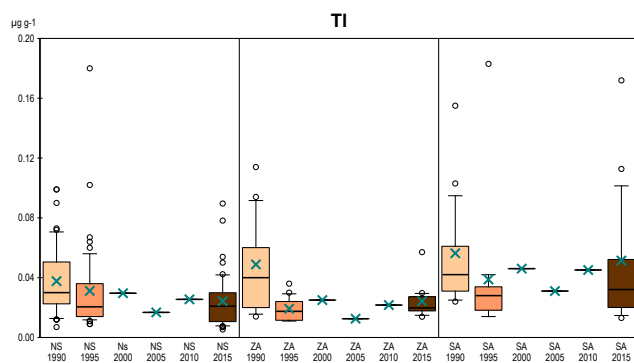
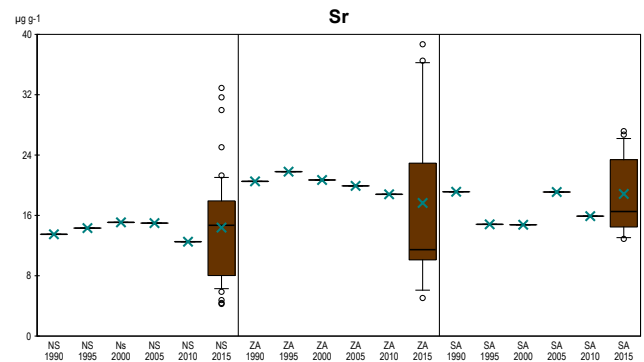
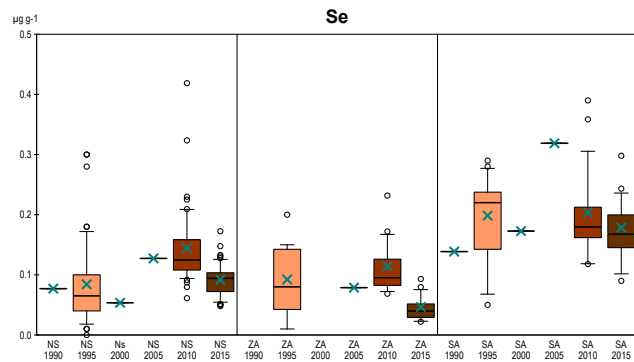
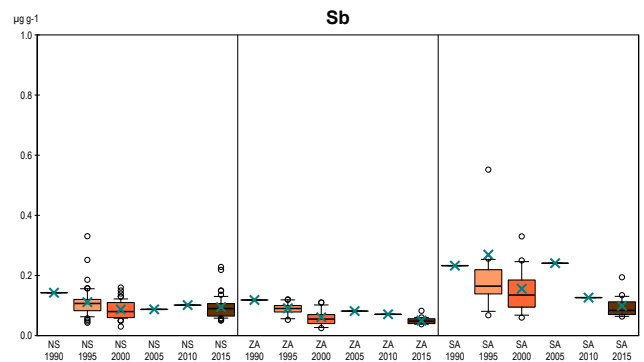
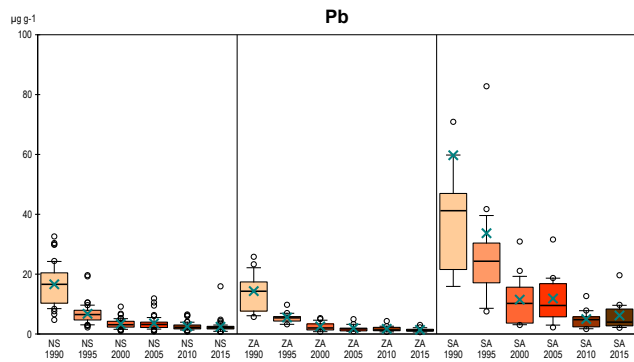
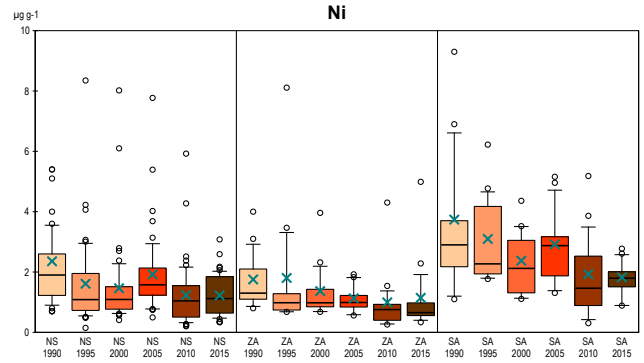
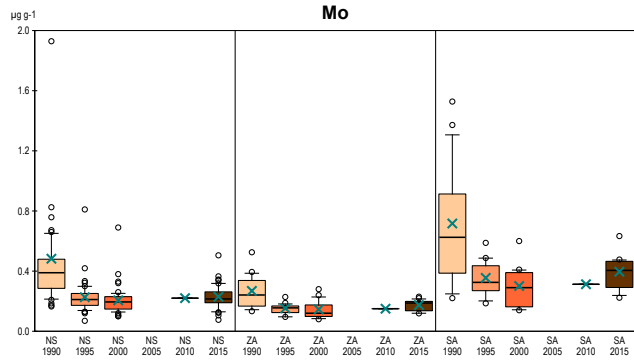
valeurs mesurées sont très proches de celles relevées sur le Plateau. Selon toute vraisemblance, ce résultat tient essentiellement aux précipitations plus importantes enregistrées dans ces deux zones, qui amènent des dépôts plus élevés. L'influence de ce facteur sur les concentrations de métaux peut être aussi importante que celle de l'urbanisation du Plateau. Les Alpes centrales, quant à elles, présentent les médianes les plus basses pour la plupart des éléments concernés. En effet, du fait de sa situation protégée (par de hautes montagnes de part et d'autre), cette région est moins peuplée et moins concernée par le transport de polluants à longue distance.

Depuis 1985, nombre d'installations industrielles en Suisse ou à l'étranger ont été mises hors service ou assainies, et la combustion des produits pétroliers est devenue moins polluante au cours des 20 dernières années. Autant de facteurs qui ont permis de réduire les émissions, ce qui se vérifie, à quelques exceptions près, dans les concentrations relevées dans les mousses. Les graphiques de la figure 2 montrent les médianes normées des concentrations de métaux lourds, regroupés en fonction de leur comportement dans le temps.

Figure 1
Concentrations des métaux analysés (diagrammes en boîte)
 Présentation des concentrations de métaux relevées pour les six campagnes de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 et 2015. Les données sont ventilées selon trois zones définies en Suisse: NS: Suisse septentrionale (Jura, Plateau, Alpes du nord), ZA: Alpes centrales, SA: Alpes du sud.







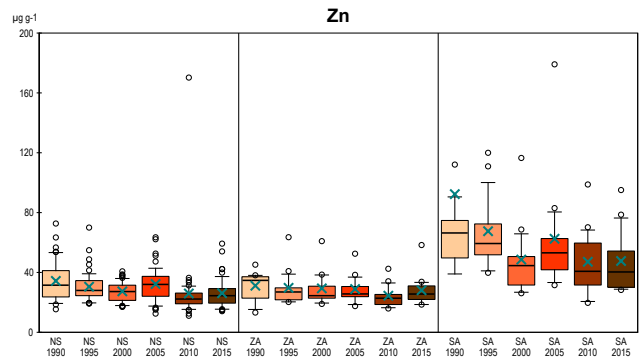
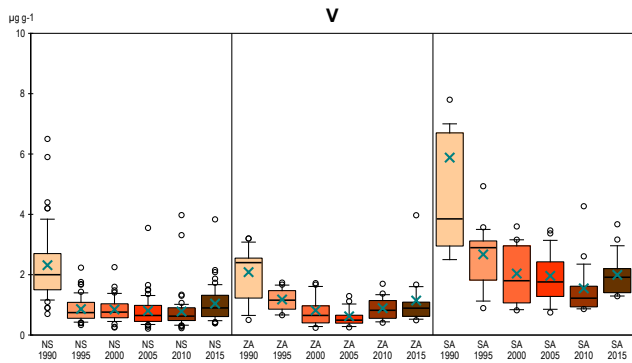
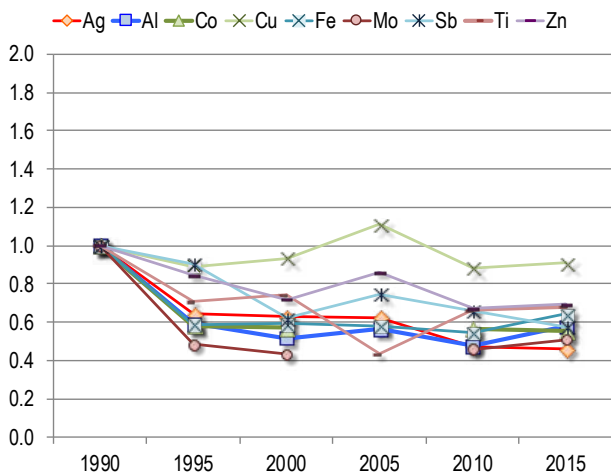
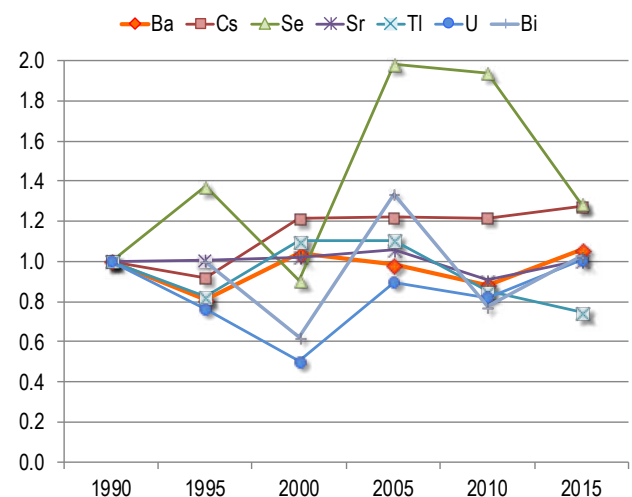
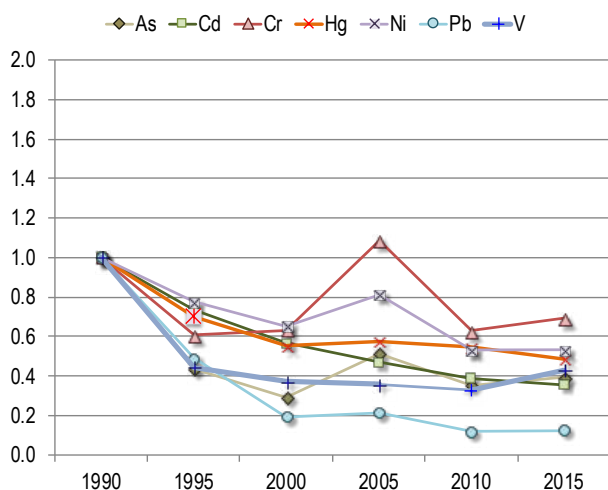


Figure 2
Évolution des concentrations de métaux lourds entre 1990 et 2015
 Présentation des moyennes des concentrations de métaux lourds relevées pour les six campagnes de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 et 2015. Les valeurs sont normées d'après les concentrations de 1990.

En haut : les teneurs en argent, en aluminium, en cobalt, en fer, en molybdène, en antimoine et en zinc ont diminué depuis 1990 (resp. -54 %, -42 %, -45 %, -36 %, -49 %, -42 %, -31 %), mais la diminution n'a pas été continue. Seul le cuivre présente une évolution plus ou moins stable depuis 1990 (-9 %).



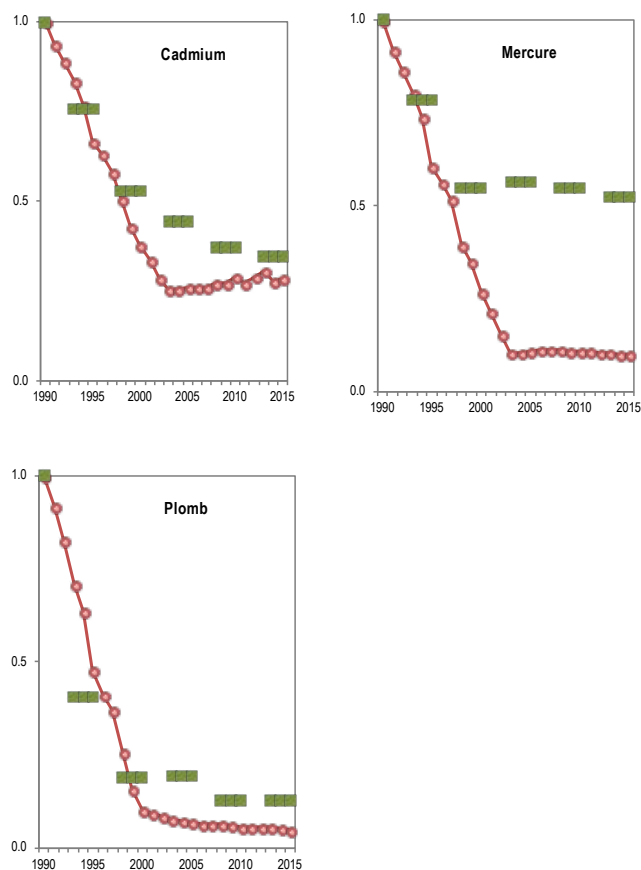
Au milieu : les teneurs en arsenic, en cadmium, en chrome, en mercure, en nickel, en plomb et en vanadium ont également diminué depuis 1990, la plupart des concentrations diminuant de plus de moitié (resp. -62 %, -65 %, -31 %, -51 %, -47 %, -88 %, -57 %). Il convient de souligner la forte diminution continue du plomb.



En bas : les concentrations moyennes de baryum, de césium, de sélénium, de strontium et d'uranium sont restées stables voire ont légèrement augmenté au cours des six relevés (resp. +6 %, +27 %, +29 %, 0 %, 1 %). Le thallium fait exception (-32 %). Les concentrations de sélénium et d'uranium présentent de fortes variations, qui peuvent s'expliquer par les faibles valeurs de ces éléments.

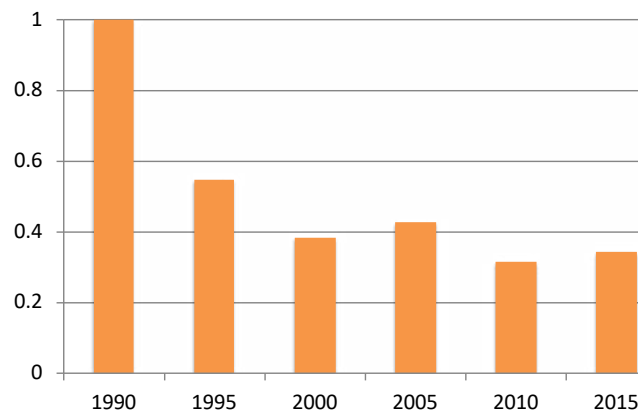
Au cours des dernières décennies, le cadmium, le mercure et le plomb ont fait l'objet de mesures spécifiques de réduction des émissions, comme l'assainissement des usines d'incinération des ordures ménagères (surtout Cd) et des crématoires (Hg) et l'introduction de l'essence sans plomb. L'amélioration obtenue se vérifie également dans les concentrations mesurées dans les mousses (fig. 3), sauf pour le mercure, dont les émissions ont pourtant reculé depuis 2000. Cela peut s'expliquer par la volatilisation du mercure présent dans le sol ou par le transport à longue distance.

Figure 3
Comparaison avec les émissions entre 1990 et 2015
Présentation des concentrations de cadmium, de mercure et de plomb relevées dans les mousses ainsi que des émissions en Suisse, normées d'après celles de 1990. Cercles = émissions ; rectangles = concentrations.



Afin d'obtenir une vue d'ensemble de la charge globale en métaux lourds, on a représenté de manière cumulée l'arsenic, le cadmium, le chrome, le nickel, le plomb et le vanadium (fig. 4 et 5). Ces éléments essentiellement d'origine anthropique sont toxiques à faibles doses et ont été relevés au cours des six périodes de mesure. Les valeurs obtenues pour ces éléments ont été normées en faisant la moyenne géométrique des six périodes, puis additionnées pour chaque emplacement. Le résultat ainsi obtenu est présenté sous forme de points dont la taille est proportionnelle à la charge en métaux lourds déterminée. Les cartes montrent clairement les concentrations plus élevées en Suisse méridionale. Cependant, elles mettent aussi en évidence la baisse constatée en Suisse au cours des 25 dernières années (fig. 5). Pour l'arsenic, le cobalt, le chrome, le mercure, le plomb, le thallium et le vanadium, on peut considérer que l'influence anthropique a diminué entre 1995 et 2015, comme en atteste l'augmentation de la corrélation de ces éléments avec l'aluminium, dont l'origine en Suisse est essentiellement géogène et peu anthropique.

Figure 4
Charge globale de métaux lourds toxiques d'origine anthropique en Suisse – histogramme
Présentation de la charge globale de métaux lourds pour les six campagnes de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 et 2015. Les valeurs des éléments toxiques d'origine principalement anthropique (As, Cd, Cr, Ni, Pb, V) ont été normées et additionnées. Pour la représentation graphique, la somme de 1990 a été normée à 1.



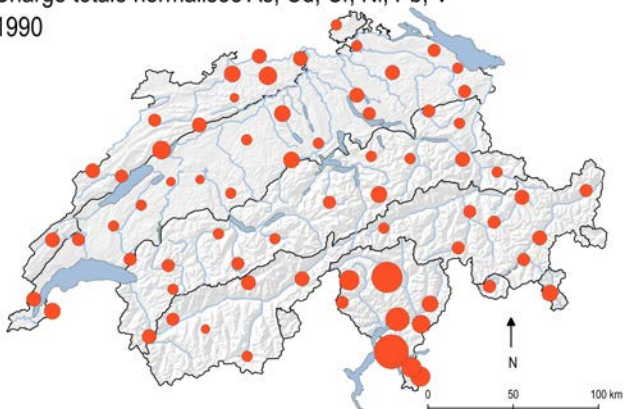
Source pour les émissions : Inventaire des émissions, OFEV 2017

Figure 5

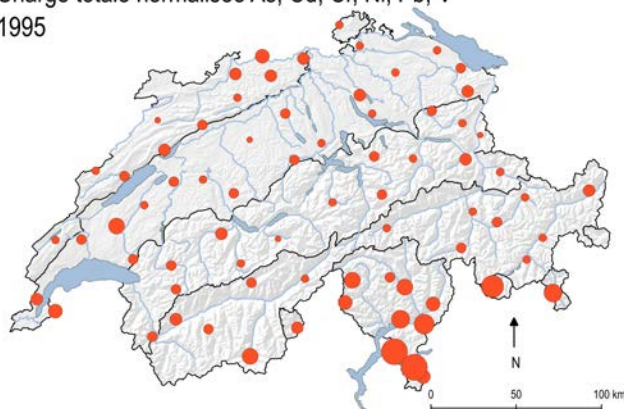
Charge globale en métaux lourds toxiques d'origine anthropique en Suisse

Présentation de la charge globale de métaux lourds pour les six campagnes de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 et 2015. Les valeurs des éléments toxiques d'origine principalement anthropique (As, Cd, Cr, Ni, Pb, V) ont été normées et additionnées. La taille des points est proportionnelle à l'intensité de la pollution.

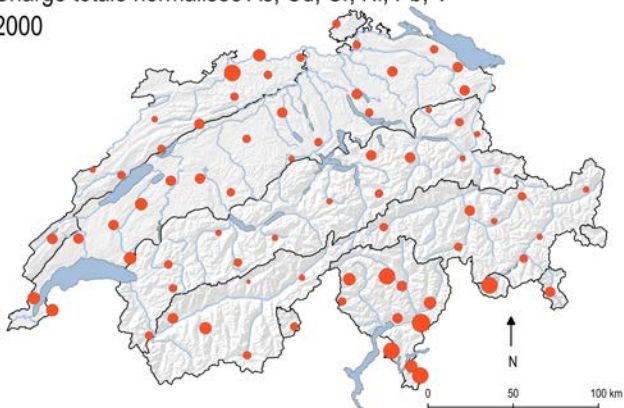
Charge totale normalisée As, Cd, Cr, Ni, Pb, V
1990



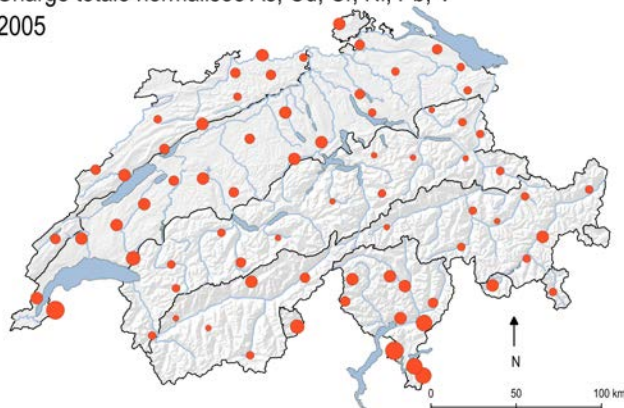
Charge totale normalisée As, Cd, Cr, Ni, Pb, V
1995



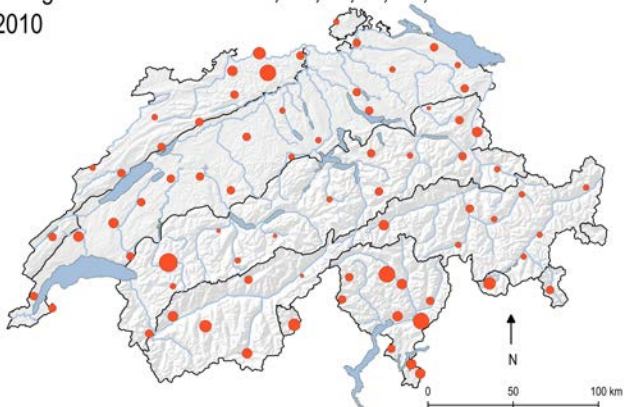
Charge totale normalisée As, Cd, Cr, Ni, Pb, V
2000



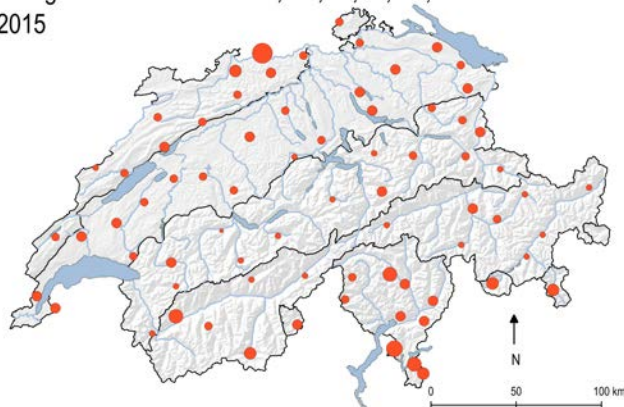
Charge totale normalisée As, Cd, Cr, Ni, Pb, V
2005



Charge totale normalisée As, Cd, Cr, Ni, Pb, V
2010



Charge totale normalisée As, Cd, Cr, Ni, Pb, V
2015



En comparaison européenne, les valeurs mesurées en Suisse sont plutôt basses pour presque tous les éléments. Des concentrations similaires ont souvent été enregistrées en Autriche. En Norvège, les concentrations sont souvent plus faibles qu'en Suisse, mais celles de mercure, nettement plus élevées. En Allemagne, les teneurs en cuivre et en zinc sont importantes ; en Tchéquie, c'est le cas pour la plupart des autres éléments. Des valeurs encore plus élevées ont été relevées en Slovénie. Sur l'ensemble de l'Europe, au cours des 25 dernières années, on enregistre une baisse pour presque tous les éléments.

Azote

Si les concentrations d'azote ont peu évolué depuis 1995, elles présentent tout de même une tendance à la hausse (fig. 6).

En 2015, la répartition régionale de l'azote est semblable à celle des métaux lourds : en moyenne, la Suisse méridionale présente les valeurs les plus élevées et les Alpes centrales, les plus faibles. Toutefois, les valeurs mesurées dans les Alpes du nord sont aussi relativement faibles, contrairement aux métaux lourds (fig. 7). C'est sur le Plateau qu'a été mesurée la concentration la plus élevée, ce qui n'est pas surprenant vu l'intensité de l'exploitation agricole dans cette région.

Figure 6
Comparaison entre les concentrations d'azote des années 1995, 2005, 2010 et 2015

Présentation des concentrations d'azote sous forme de diagrammes en boîte. Seuls les emplacements analysés lors de tous les relevés sont pris en compte (n = 10). La ligne verte représente la teneur naturelle en azote dans les mousses (5 mg g⁻¹).

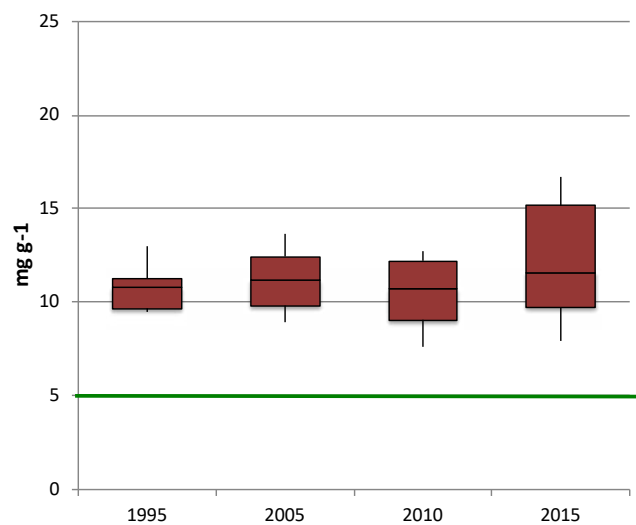
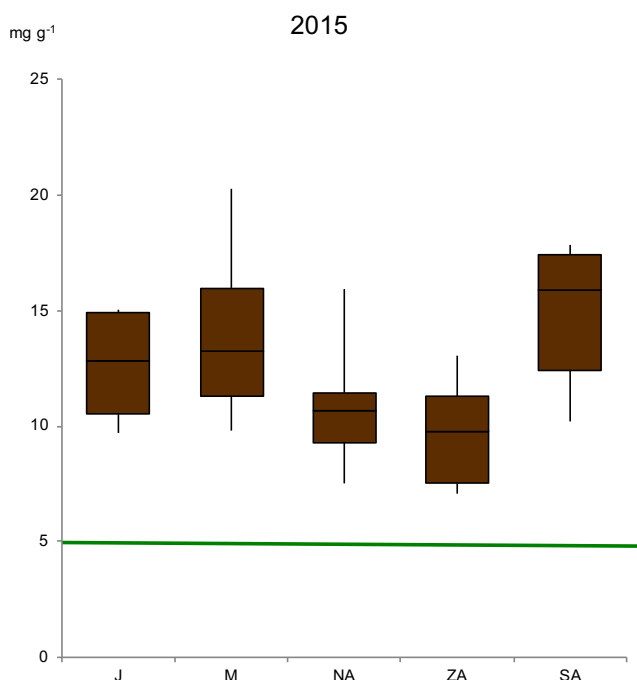


Figure 7
Concentrations d'azote dans cinq zones définies en 2015

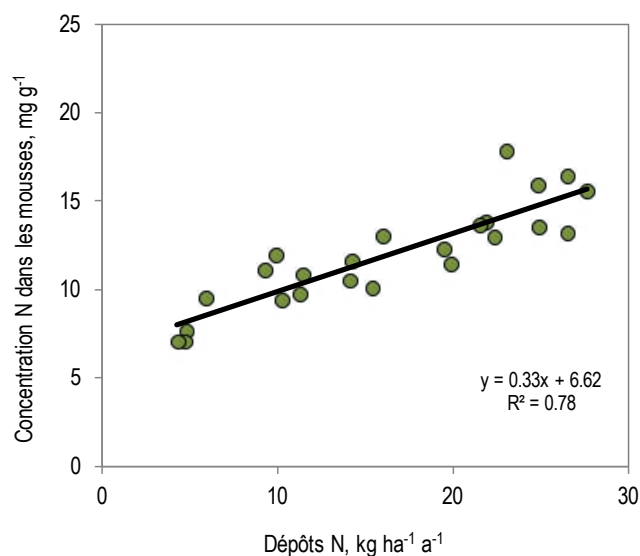
Présentation des concentrations d'azote sous forme de diagrammes en boîte. Les données sont ventilées selon les cinq zones suivantes : Jura (J, n = 7), Plateau (M, n = 17), Alpes du nord (NA, n = 15), Alpes centrales (ZA, n = 10), Alpes du sud (SA, n = 6). La ligne verte représente la teneur naturelle en azote dans les mousses (5 mg g⁻¹).



En 2014, les apports totaux d'azote ont été déterminés dans le cadre d'un projet national. À cet effet, les composés azotés atmosphériques ont été mesurés au moyen de collecteurs actifs et passifs, ce qui a permis de calculer le dépôt total (Seitler et al. 2016)¹. En 24 emplacements, ces données ont pu être comparées avec la concentration d'azote dans les mousses à proximité des sites de mesure. Ces comparaisons indiquent une bonne corrélation (fig. 8).

Figure 8
Comparaison avec les dépôts totaux d'azote à 24 emplacements

Comparaison entre les concentrations d'azote dans les mousses et les dépôts totaux d'azote (ammonium et nitrates dans les précipitations, ammoniac, dioxyde d'azote, acide nitrique, ainsi qu'ammonium et nitrates dans les aérosols).



Source : azote dans les précipitations, WSL, IAP, FUB

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

En ce qui concerne les HAP, quatorze types ont été analysés à 22 emplacements dans toute la Suisse. La figure 9 présente sur une carte la somme des quatorze composants concernés. Elle révèle que les concentrations sont plus élevées à certains emplacements, surtout dans les régions de Bâle, du lac de Constance, de l'ouest du Plateau et du sud du Tessin. Si les concentrations mesurées dans les Alpes centrales sont généralement plus basses, les concentrations totales ne sont pas clairement différenciées selon les zones. En comparaison avec les résultats de 2010, on constate que les concentrations de HAP ont reculé à certains emplacements et sont restées stables à d'autres (fig. 10). Les distinctions régionales qui ressortaient en 2010 tendent à disparaître. Il convient toutefois de signaler que les proportions des différents HAP sont très variables selon les emplacements.

¹ Seitler E., Thöni L., Meier M. 2016: Atmosphärische Stickstoff-Deposition in der Schweiz 2000 bis 2014. FUB – Forschungsstelle für Umweltbeobachtung, Rapperswil. 105 p.

Figure 9

Somme des concentrations de HAP en Suisse

Présentation de la somme des quatorze types de HAP dans les échantillons de mousses collectés en 2015. Les valeurs sont indiquées en $ng\ g^{-1}$ de matière sèche (MS). La taille des points est proportionnelle aux concentrations dans les mousses.

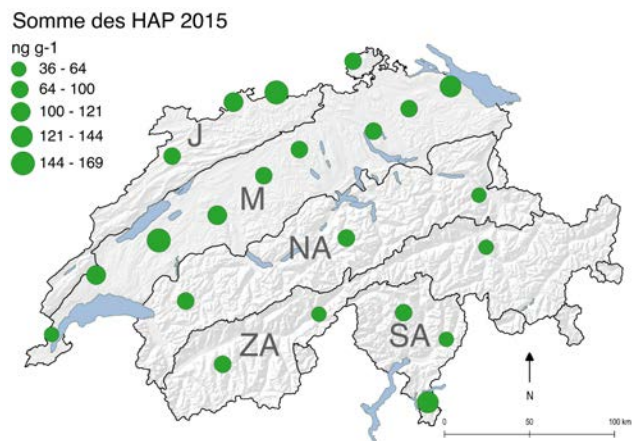
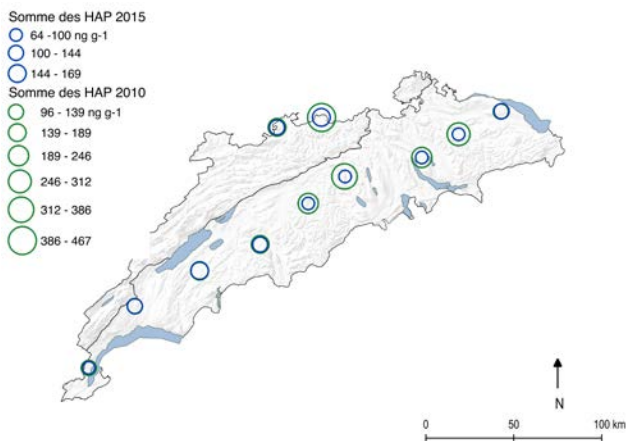


Figure 10

Comparaison de la somme des concentrations de HAP en 2010 et 2015

Présentation de la somme des concentrations des neuf HAP relevés en 2010 et 2015. Seuls les emplacements analysés lors des deux relevés sont pris en compte. Les valeurs sont indiquées en $ng\ g^{-1}$ de matière sèche (MS). La taille des points est proportionnelle aux concentrations dans les mousses.



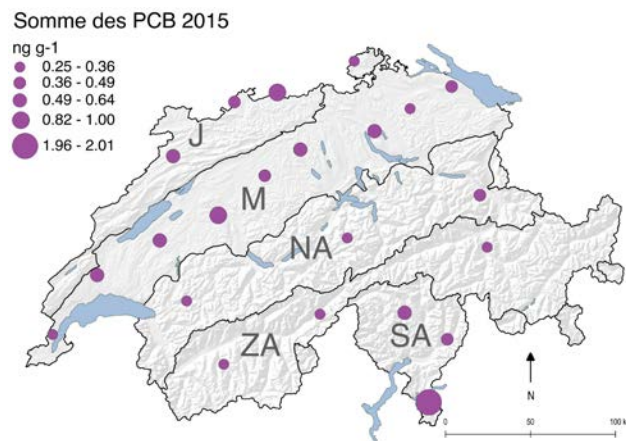
Biphényles polychlorés (PCB)

Les 22 emplacements d’analyse des PCB sont les mêmes que ceux des HAP. Les concentrations de tous les PCB mesurés sont proches de la limite de détection de la méthode utilisée. Les concentrations des échantillons provenant des Alpes du nord et des Alpes centrales sont les plus basses, celles du sud du Tessin sont les plus élevées et celles du Plateau et de la région bâloise se situent entre les deux (fig. 11). Faute d’analyses comparables pour la même période, on ne peut pas situer les concentrations de PCB dans les mousses en Suisse dans un contexte plus large. Les concentrations suisses sont semblables à celles relevées en Allemagne, alors que celles mesurées en Norvège sont nettement inférieures.

Figure 11

Comparaison de la somme des concentrations de PCB en 2015

Présentation de la somme des concentrations des PCB mesurées en 2015. Les valeurs sont indiquées en $ng\ g^{-1}$ de matière sèche (MS). La taille des points est proportionnelle aux concentrations dans les mousses.



Conclusion

La présente étude montre les différences régionales et l'évolution dans le temps des concentrations de métaux, d'azote et de POP dans les mousses en Suisse. Les teneurs en argent, en arsenic, en cadmium, en mercure, en vanadium et surtout en plomb ont considérablement diminué au cours des 25 dernières années (de 51 à 88 %), tout comme les concentrations d'aluminium, de cobalt, de chrome, de fer, de molybdène, de nickel, d'antimoine, de thallium et de zinc (de 31 à 49 %). Les mesures de réduction des émissions sont donc efficaces. Les teneurs en bismuth, en cuivre et en sélénium n'ont pas diminué, mais ces éléments n'ont pratiquement pas fait l'objet de mesures. Les concentrations de baryum, de césium, de strontium et d'uranium n'ont pratiquement pas changé mais, dans les mousses, ces éléments sont surtout d'origine naturelle. Pour ce qui est de la répartition géographique, on constate que, quel que soit l'élément, les concentrations les plus élevées ont généralement été mesurées dans le sud de la Suisse et les plus basses, dans les Alpes centrales.

L'analyse de l'azote (N) dans les mousses permet de mieux connaître la charge d'azote dans les écosystèmes. Les concentrations d'azote n'ont pratiquement pas évolué depuis 1995. Elles sont, elles aussi, plus élevées dans les Alpes du sud et nettement moins élevées dans les Alpes du nord et les Alpes centrales. Par rapport à 2010, les concentrations de HAP dans les mousses ont aussi plutôt diminué. Cette baisse se retrouve également dans des études indépendantes portant sur les PM₁₀. Les HAP n'étant mesurés dans les mousses que depuis 2010, on ne peut toutefois pas encore tirer de conclusions sur leur évolution à plus long terme.

La présente étude a permis d'atteindre les objectifs suivants: les dépôts atmosphériques régionaux de différents éléments et composés ont pu être estimés au moyen de l'analyse des mousses et comparés avec les valeurs relevées dans d'autres pays européens. L'évolution par rapport aux relevés précédents permet le suivi des mesures de réduction des émissions. L'étude fournit également des données de référence pour l'Observatoire national des sols (NABO) et pour de prochaines analyses. La méthode utilisée peut être recommandée pour le suivi des mesures de réduction des émissions.