



Concentrations de métaux dans les poussières déposées en environnement intérieur

Logements, lieux publics et abords de chantiers



Ref.	Concentrations de métaux dans les poussières déposées en environnements intérieurs Logements, lieux publics et abords de chantiers
Date d'émission	12.01.2022
Auteurs	P. Favreau, S. Martignier et Y. Muller (Service de l'air, du bruit et des rayonnements non ionisants, Office cantonal de l'environnement, Etat de Genève)

1. TABLE DES MATIÈRES

1. TABLE DES MATIÈRES.....	2
2. RÉSUMÉ	3
3. CONTEXTE ET OBJECTIF.....	4
Contexte	4
Objectifs.....	5
Valeurs guides existantes	5
4. STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE.....	7
Cadre de la campagne	7
Méthodologie	7
5. METHODOLOGIE D'ANALYSE.....	8
Préparation d'échantillon	8
Méthode d'analyse	8
Rapports d'analyse	8
Assurance Qualité.....	8
6. RÉSULTATS.....	9
Données d'échantillonnage	9
Occurrence et concentrations pour les logements.....	10
Occurrence et concentrations pour les lieux publics.....	11
Occurrence et concentrations Aux abords de chantiers	12
Situation par rapport aux données internationales	13
7. CONCLUSION	14
8. REMERCIEMENTS.....	15
9. BIBLIOGRAPHIE	15

2. RÉSUMÉ

Une campagne d'échantillonnage et d'analyse de poussières déposées de différents milieux intérieurs a permis d'établir des niveaux de concentrations représentant le bruit de fond environnemental pour 12 éléments métalliques dans des logements, des lieux publics et aux abords de chantiers, sur la période 2017-2018 dans le canton de Genève.

Cette évaluation complète celle réalisé sur le bruit de fond environnemental pour l'amiante dans les poussières déposées (prélèvements par tampons selon ISO 16000-27, VDI 3877).

Au total, 409 échantillons ont été prélevés sur 78 sites au cours de cette campagne d'évaluation, dont 53 échantillons dans 7 logements, 213 échantillons dans 41 lieux publics (commerces, lieux de spectacles, sites sportifs, etc.) et 143 échantillons sur 30 sites aux abords de chantiers.

Par comparaison à des études internationales, il ressort que la situation dans les logements et les lieux publics du canton de Genève ne diffère pas significativement des concentrations usuellement mesurées dans les milieux intérieurs. Les concentrations mesurées représentent majoritairement des concentrations de fond diffus environnemental.

En revanche, les poussières déposées aux abords de chantiers (accessibles au public), présentent des concentrations surfaciques en métaux beaucoup plus élevées que dans les logements et lieux publics. Ces sites représentent donc une source d'exposition plus importante à des poussières toxiques pour la population.

En Suisse, à l'heure actuelle, aucune législation ni valeur guide, n'existe pour déterminer si une concentration particulière dans les poussières déposées pose un risque significatif d'exposition des personnes avec des conséquences sur la santé à court ou long terme. A la lumière de quelques valeurs seuils existantes dans d'autres pays (par exemple aux USA et en France pour l'arsenic, le béryllium, le cadmium, le chrome hexavalent et le plomb), une première évaluation permet de pointer le rôle prépondérant du plomb comme facteur de risque.

En se basant sur le seuil le plus protecteur proposé par l'Agence environnementale américaine (US-EPA), soit 430 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ pour le plomb, 7% des lieux publics investigués font apparaitre au moins un échantillon dépassant ce seuil. En considérant les abords de chantiers, la proportion atteint 67%. Ce seuil n'est en revanche dépassé dans aucun logement.

Cette première étude met donc en évidence une source avérée de métaux sous forme de poussières déposées, aux abords de chantiers. Plus particulièrement, les poussières déposées contenant du plomb, peuvent constituer une réelle préoccupation de santé publique. En l'absence de valeur guide en Suisse, il serait souhaitable de limiter autant que possible l'émission globale de poussières de chantiers et de procéder à des contrôles réguliers sur les chantiers afin d'identifier rapidement des situations problématiques. Enfin, il apparait nécessaire d'évaluer plus précisément cette thématique afin de mieux cerner les sources de contamination et les conséquences en terme de risques d'exposition qui s'ajoute à d'autres polluants tels que l'amiante ou les perturbateurs hormonaux.

3. CONTEXTE ET OBJECTIF

CONTEXTE

Une des missions du SABRA porte sur l'identification de dangers et l'évaluation des risques posés par les substances dangereuses dans les environnements intérieurs. Cette campagne s'inscrit directement dans ce contexte, avec l'objectif de caractériser les occurrences et concentrations surfaciques de différents métaux dans les poussières déposées à l'intérieur de bâtiments, définissant ainsi un bruit de fond environnemental.

Il s'agit d'une étude préliminaire et des investigations plus précises devront encore être réalisées pour évaluer les risques d'exposition de la population aux poussières déposées. Cette problématique reste relativement peu connue alors que l'exposition aux poussières constitue un vecteur non négligeable d'exposition, notamment pour certaines populations tels que les jeunes enfants.

De manière générale, la population est exposée aux poussières par ingestion, inhalation et contact cutané. En ce qui concerne la voie cutanée sur une peau saine, par exemple les allergies de contact, l'impact est faible pour les métaux lourds à l'exception du béryllium, du chrome hexavalent et du nickel.

En milieu professionnel, l'exposition des travailleurs à des métaux sous forme de poussières, de particules ou de fumées peuvent engendrer des problèmes respiratoires aigus ou chroniques. Des effets sur la peau de type allergique ont également été observés avec des métaux tels que le nickel ou le chrome. Dans certains cas, par exemple avec le plomb, le mercure ou le cadmium, les effets peuvent être plus graves avec des maladies cardiovasculaires ou des pathologies touchant le système nerveux. Enfin, des études épidémiologiques ont pu établir un lien entre des expositions professionnelles au béryllium et au chrome avec l'occurrence de cancers du poumon.

En ce qui concerne les expositions de la population générale, il existe une corrélation significative entre les teneurs en Plomb dans les poussières déposées et la présence de ce métal dans les fluides biologiques des personnes exposées (Larsson et Berglund, 2018). Il apparaît également que l'ingestion de plomb par les poussières déposées soit une source d'exposition majeure en comparaison de l'alimentation (Glorennec et al., 2016). Les risques liés aux métaux dans les poussières déposées en milieux intérieurs ont été revus récemment par Tan et al. (2016).

Les poussières déposées correspondent aux fibres et débris de nature organique (fibres textiles, poils, pollens, etc.) et minérale (débris de béton, ciment, peinture, etc.) qui se déposent par gravité sur les surfaces. La composition d'un échantillon de poussière dépend particulièrement du mode de vie et des activités des habitants, des habitudes de nettoyage, du mobilier, des matériaux de construction, des modes de chauffages, de la proximité d'une source de pollution industrielle ou automobile, et du taux de renouvellement de l'air.

La granulométrie de ces débris peut varier fortement de quelques centaines de micromètres jusqu'à quelques nanomètres. De manière générale, plus la granulométrie des fibres et débris est faible, plus l'exposition *via* le système respiratoire est élevée. De ce fait, les poussières constituent une source d'exposition à des substances ayant un impact sur la santé des personnes. A titre d'exemple, ces effets sont directement visibles pour les personnes allergiques aux pollens ou aux acariens. Sans provoquer d'effets aussi spectaculaires, nos organismes sont exposés de manière continue à d'autres substances, notamment les métaux dont certains sont connus pour leurs effets chroniques à long-terme.

OBJECTIFS

Volonté du plan de mesure cantonal 2018-2023 "Substances dangereuses dans l'environnement bâti" (mesure 8) approuvé par le Conseil d'Etat le 19 décembre 2018, cette étude vise à dresser un état des lieux sur la présence de métaux toxiques dans les poussières déposées dans les lieux publics et les logements.

Cette étude s'inscrit dans une démarche large visant à documenter l'occurrence et le niveau de concentration de métaux toxiques dans les poussières déposées dans les bâtiments du canton de Genève, correspondant aux endroits où la population générale peut être exposée, excluant de fait les lieux de travail. Les résultats pour les logements et lieux publics, représentant des situations habituellement observées, seront utiles comme outil de comparaison et de référence avec des concentrations mesurées lors d'évènements ponctuels ou de situation particulière.

En outre, l'évaluation de sites accessibles au public à proximité de chantiers de rénovation a également été réalisée. Les chantiers peuvent émettre d'importante quantité de poussières qui se disséminent facilement dans l'intégralité de la construction et s'ajoutent aux poussières domestiques.

Selon une revue de la littérature effectuée par Lucattini et al. (2018), il apparaît que les métaux présents dans les poussières proviennent principalement des matériaux de construction, des activités de cuisine et chauffage ainsi que des apports de l'air extérieur. Cependant, les sources d'exposition au plomb peuvent être relativement variés en fonction des pays et zones régionales (Emmanuel Obeng-Gyasi, 2019). On peut citer par exemple la proximité de voies de circulation routière importante et les activités artisanales et industrielles.

Les métaux ciblés par cette étude ont été sélectionnés en raison de leur caractère toxique pour les organismes vivants et de la présence de sources connues dans le milieu bâti. Ainsi, les 12 métaux suivants ont été cherchés et quantifiés dans les échantillons, avec des exemples de matériaux sources :

Aluminium (profilés), Arsenic (conservateurs), Baryum (peintures), Cadmium (peintures), Chrome (ciments, peintures), Cuivre (toitures), Fer (aciers), Manganèse (aciers), Plomb (peintures, PVC), Etain (poteries), Titane (peintures, plastiques), Zinc (toitures, peintures)

VALEURS GUIDES EXISTANTES

Pour les métaux, comme pour toute autre substance, il n'existe à ce jour aucune valeur de référence établie pour les poussières déposées dans les milieux intérieurs en Suisse.

En milieu extérieur, l'ordonnance pour la protection de l'air (OPAIR) comporte des valeurs limites d'immissions pour le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le zinc (Zn) et le thallium (Tl) dans les retombées de poussières. Les moyennes annuelles sont de 100 µg/m² par jour pour le Pb, 2 µg/m² par jour pour le Cd, 400 µg/m² par jour pour le Zn et 2 µg/m² par jour pour le Tl.

Aux Etats-Unis, le Brookhaven National Laboratory (Safety & Health Services Division - Industrial Hygiene Group) a émis une procédure dont l'objectif est de fournir une méthode harmonisée pour l'échantillonnage de métaux sur des surfaces par essuyage avec des lingettes. Cette procédure comprend des critères obligatoires ou recommandés pour l'As, le Be, le Cd, le Cr et le Pb (Table 1). L'objectif de la procédure étant, entre autres, la libération de zones de travail, de lieux accessibles au public ou l'évaluation de l'efficacité du nettoyage après une contamination.

En France, la mesure de la concentration en plomb doit être réalisé dans les poussières déposées présente sur le sol après travaux selon le code de la santé publique (article 1334-3).

Le plomb est dosé après extraction acido-soluble selon la norme NF X 46-032 et le critère de décision quant à un nouveau nettoyage et à de nouveaux prélèvements est fixé à 1 mg/m². Par ailleurs, un rapport d'expertise collective de l'agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES, 2018) sur l'exposition aux poussières sédimentées dans les environnements intérieurs a confirmé l'intérêt et la pertinence d'élaborer des valeurs guides pour les poussières intérieures (VGPI) pour protéger la santé et aider à l'interprétation de résultats de mesures en terme de risques.

Enfin, il existe en France une valeur de « réflexion » de 70 µg/m² concernant les poussières déposées dans les bâtiments accueillant des enfants de moins de 7 ans et chez les femmes enceintes ou envisageant une grossesse à court terme (dans les 6 mois). A cette valeur, le Haut Conseil de la santé publique français estime qu'il peut y avoir une déclaration de saturnisme pour 5 % des enfants (plombémie attendue > 50 µg/L).

Compound	Criteria		Criteria type	OSHA PEL ug/m ³
	ug/100cm ²	ug/ft ²		
Arsenic (As) 29CFR1910.1018	100	929	G	10 ug/m ³
	6.7	62	G	
Beryllium (Be) 10CFR850	3.0	28	R	2 ug/m ³
	0.2	1.9	G	
	3.0	28	R	
	0.2	1.9	R	
Cadmium (Cd) 29CFR1910.1027	50	465	G	5 ug/m ³ [1027] 200 ug/m ³ [Z.2]
	3.3	31	G	
Chromium, hexavalent (Cr) VI 29CFR1910.1026	50	465	G	5 ug/m ³
	3.3	31	G	
Lead (Pb) 29CFR1910.1025	500	4645	G	50 ug/m ³
	50	465	G	
	22	200	G	
	22	200	G	
	4.3	40	G	
	43	400	G	
	27	250	G	
4.3	40	G		

Table 1 : Critères obligatoires (R) et recommandés (G) pour différents métaux selon le Brookhaven National Laboratory (Safety & Health Services Division - Industrial Hygiene Group)

4. STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

CADRE DE LA CAMPAGNE

La campagne d'évaluation a été menée dans le canton de Genève, entre novembre 2017 et janvier 2018, par prélèvements de poussières déposées, à l'intérieur de bâtiments. La phase d'échantillonnage a été pilotée par le service de l'air, du bruit et des rayonnements non-ionisants (SABRA) en collaboration avec un bureau d'ingénieur du canton de Genève.

Trois typologies de sites ont été déterminés par le SABRA et ciblés par l'étude. Ces sites comprennent des logements d'habitation (en immeuble et villa), des lieux publics (centres commerciaux, magasins, restaurants, écoles, etc.) ainsi que des sites accessibles au public aux abords de chantiers en activité (chantiers de rénovation uniquement).

METHODOLOGIE

Les poussières intérieures peuvent être prélevées de plusieurs manières, soit par balayage, par essuyage avec une lingette ou par aspiration. Ces méthodes présentent chacune des avantages et inconvénients qui ont été évalués récemment (ANSES, 2018). Les prélèvements ont ici été effectués par essuyage. Brièvement, les poussières déposées ont été prélevées à l'aide de lingettes de type « Ghost wipes » sur une surface de 10 cm x 10 cm, soit 100 cm² puis stocké en minigrip. L'échantillon est ensuite transmis au laboratoire du SABRA pour analyse. Chaque échantillon a fait l'objet d'une fiche de prélèvement en indiquant notamment la date, le lieu précis et le type de surface échantillonnée.

La méthode d'essuyage par lingette a été choisie en raison de sa facilité de mise en œuvre et de sa reconnaissance internationale pour l'évaluation du plomb. Cependant, ce type de prélèvement reste délicat lorsque le substrat est rugueux ou poreux. Bien que les résultats soient relativement assez représentatifs de la poussière qui peut adhérer aux mains, l'extrapolation de quelconques doses d'expositions reste difficile (ANSES, 2018).

Les échantillons dans les logements ont été réalisés par les habitants formés à la technique de prélèvement par Mr Yan Muller (SABRA), sur la période de novembre à décembre 2017.

Les échantillons ont été prélevés dans les lieux publics par un bureau d'ingénieur partenaire de novembre 2017 à janvier 2018. Chaque lieu a fait l'objet d'une fiche technique en signalant le type du lieu public et la nature de l'activité à proximité. Des photographies de situation illustrent en outre le positionnement des prélèvements sur le site et les activités en cours.

Les prélèvements aux abords de chantiers ont été réalisés par un bureau d'ingénieur partenaire de novembre 2017 à janvier 2018. Une fiche technique par site a été réalisée en indiquant notamment le type de chantier et la nature des travaux, ainsi que des photographies prises sur le lieu des travaux.

La totalité des formulaires de prélèvements et fiches techniques sont consultables au laboratoire du SABRA.

5. METHODOLOGIE D'ANALYSE

PREPARATION D'ECHANTILLON

Les lingettes de prélèvements (100 cm²) en fibres cellulosiques sont minéralisées sous reflux d'une solution d'acide nitrique (32.5%) pendant 1h au moyen d'un minéralisateur de type Buchi Speed Digester K-436 ou équivalent. Après disparition complète de la lingette, et mise en solution des métaux potentiellement présents, la solution acide est filtrée sur un filtre Millipore de 0.45 µm puis diluée par ajout d'eau déminéralisée avant d'être soumise à une analyse par spectrométrie à plasma à couplage inductif (ICP-MS).

La préparation des échantillons a été réalisée soit au SABRA et soit dans un laboratoire partenaire, selon des conditions opératoires similaires.

METHODE D'ANALYSE

L'analyse ICP-MS a été effectuée avec un instrument Agilent 7900, ou équivalent. La quantification des métaux est extrapolée par calibration externe de solution de métaux de référence, avec l'introduction de contrôles qualité au cours des séquences d'analyse.

La concentration volumique déterminée pour chaque échantillon est ensuite rapportée à la quantité totale de métaux présents sur la lingette pour être finalement reportée par unité de surface en µg/m². Les analyses des échantillons ont été réalisées par deux laboratoires partenaires, selon des conditions opératoires similaires.

RAPPORTS D'ANALYSE

Un rapport d'analyse donne pour chaque échantillon la concentration volumique de métaux en solution, ou la quantité totale de métaux par lingette. Ces résultats ont ensuite été traités de manière à obtenir, pour chaque échantillon, la quantité de chaque métal par unité de surface en µg/m².

L'incertitude du résultat, pour tous les échantillons et tous les métaux, est estimée à 30% dans la gamme de mesure. Cette incertitude correspond à l'incertitude de mesure analytique, l'incertitude liée au prélèvement manuel n'étant pas déterminée. La limite de quantification est de l'ordre de 0.03 µg/lingette, soit 3 µg/m² (logements) et de 1 µg/lingette, soit 100 µg/m² (lieux publics et abords de chantiers). L'obtention de limites de quantification différentes est due à l'utilisation d'instruments ICP-MS différents. La totalité des rapports d'analyse est consultable au laboratoire du SABRA.

ASSURANCE QUALITE

La méthode de préparation d'échantillon correspond au protocole « P05-02-06_v1_Méthode de minéralisation » du laboratoire du SABRA/STOL, et conforme au système qualité régi par la norme ISO/CEI 17025:2005. Les analyses ICP-MS ont été réalisées par deux laboratoires partenaires, tous deux appliquant des contrôles qualités lors des séquences d'analyses et vérifications permettant la traçabilité et l'exactitude des résultats.

6. RÉSULTATS

DONNEES D'ECHANTILLONAGE

Au total, 409 échantillons ont été prélevés sur 78 sites au cours de cette campagne d'évaluation dont la répartition est présentée dans la table 2.

	Logements	Lieux publics	Chantiers
Nombre de sites	7	41	30
Nombre d'échantillons	53	213	143
Nombre d'échantillon moyen par site	8	5	5
Nombre d'échantillon médian par site	10	4	5
Nombre minimum d'échantillon par site	4	3	2
Nombre maximum d'échantillon par site	10	20	7

Table 2 : Données d'échantillonnage des poussières déposées dans différents milieux intérieurs.

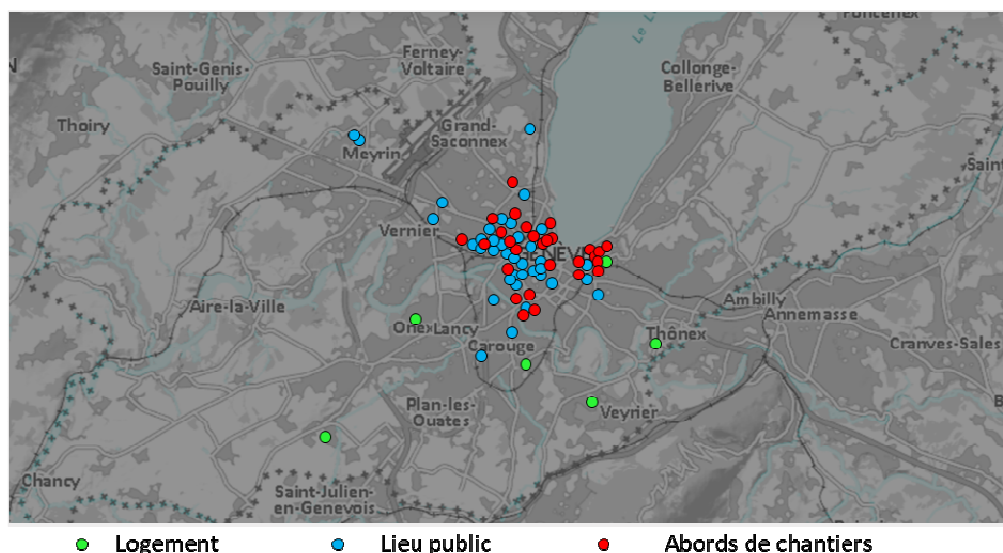
Les logements évalués concernent soit des maisons d'habitation individuelle (2), soit des appartements en immeubles d'habitation (5).

Le plus grand nombre de sites échantillonnés correspondent lieux publics qui se répartissent selon les activités suivantes : centres commerciaux (3), centres sportifs (3), commerces de proximité (16), musée (5), lieux de spectacles (7), bibliothèques (5) et restaurants (2). Il est à noter que certains commerces correspondent à des activités de services telle que pressing, coiffure, ou garage qui sont également des lieux d'activités artisanales.

Les abords de chantiers sont tous caractérisés par une activité de rénovation de bâtiments proche des sites échantillonnés, notamment des parties communes d'immeubles ou des pièces d'habitation.

Du point de vue de la distribution géographique des sites échantillonnés (Figure 1), les sites logements sont plutôt situés en zone péri-urbaine alors que les lieux publics et abords de travaux sont concentrés dans le centre urbain, correspondant à la ville de Genève.

Figure 1 : Distribution géographique des échantillonnages en fonction de la nature des sites



Bien que le nombre de logements prélevés reste relativement faible (7 logements, 53 échantillons), les résultats ont pu mettre en évidence des concentrations mesurables de métaux dans les poussières déposées. Les logements n'étant pas situés à proximité immédiate d'activités artisanales ou industrielles, ceux-ci peuvent être considérés comme représentatifs d'une situation classique et conduire à une première estimation du bruit de fond généralement observés pour les métaux dans les poussières déposées.

Les valeurs moyennes, médianes et percentiles (90, 95 et 99), ainsi que les valeurs minimales et maximales observées pour les 53 échantillons sont présentés dans la table 3. Les douze métaux évalués ont tous été détectés dans les échantillons, cependant à des teneurs très variées. Trois métaux (Al, Fe et Zn) sont présents à plus d'1 mg/m² en moyenne. Tous les autres métaux (Ti, Cr, Mn, Cu, As, Cd, Sn, Ba et Pb) montrent des moyennes inférieures à 0.32 mg/m², une valeur moyenne qui n'est jamais dépassé dans 95% des situations. Enfin, la valeur maximale observée est celle du Fe avec 32 mg/m².

[] mg/m ²	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Sn	Ti	Zn
Moyenne	1.226	0.010	0.224	0.002	0.013	0.148	1.799	0.040	0.027	0.006	0.030	1.462
Médiane	0.546	0.009	0.021	0.001	0.009	0.087	0.716	0.016	0.010	<i>0.003</i>	<i>0.010</i>	1.338
Percentile 90	2.335	0.011	0.069	0.003	0.024	0.269	2.317	0.042	0.038	0.008	0.039	1.816
Percentile 95	4.635	0.013	0.124	0.006	0.041	0.315	3.037	0.055	0.071	0.024	0.119	1.892
Percentile 99	8.947	0.029	5.060	0.011	0.075	1.128	24.403	0.529	0.330	0.047	0.318	4.038
Valeur min.	0.123	0.007	0.004	<i>0.0003</i>	<i>0.003</i>	0.051	0.297	0.007	<i>0.003</i>	<i>0.003</i>	<i>0.010</i>	0.988
Valeur max.	10.803	0.031	8.086	0.011	0.088	1.154	31.787	0.773	0.374	0.053	0.428	4.188

Table 3 : valeurs moyennes, statistiques en percentiles et min./max. des valeurs mesurées pour les 53 échantillons. Les valeurs italiques correspondent aux limites inférieures de quantification. Les valeurs surlignées sont discutées dans le texte. Pour tous les calculs statistiques, les limites de quantification inférieures ont été assimilées à la valeur de la LOQ.

Afin de pouvoir évaluer les situations moyennes par logement, la moyenne des valeurs mesurées pour chaque métal par logement a été calculée (Table 4). On peut en déduire le tableau de valeur suivant, permettant d'obtenir des valeurs de bruit de fond « moyen » par logement.

[] mg/m ²	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Sn	Ti	Zn
Moyenne	1.658	0.011	0.399	0.001	0.017	0.194	2.735	0.059	0.039	0.008	0.045	1.568
Médiane	0.839	0.009	0.029	0.001	0.011	0.115	0.900	0.021	0.021	<i>0.003</i>	0.012	1.372
Percentile 90	3.360	0.014	1.078	0.003	0.034	0.383	6.390	0.132	0.088	0.017	0.114	2.043
Percentile 95	5.007	0.017	1.858	0.003	0.047	0.555	9.986	0.214	0.136	0.027	0.150	2.500
Percentile 99	6.324	0.020	2.481	0.003	0.056	0.692	12.863	0.278	0.173	0.035	0.178	2.865
Valeur min.	0.551	0.009	0.016	0.0004	0.006	0.072	0.547	0.014	0.005	<i>0.003</i>	0.011	1.267
Valeur max.	6.653	0.021	2.637	0.003	0.059	0.726	13.582	0.295	0.183	0.036	0.185	2.956

Table 4 : valeurs moyennes, statistiques en percentiles et min./max. des valeurs mesurées moyennes pour les 7 logements. Les valeurs italiques correspondent aux limites inférieures de quantification. Les valeurs surlignées sont discutées dans le texte. Pour tous les calculs statistiques, les limites de quantification inférieures ont été assimilées à la valeur de la LOQ.

OCCURRENCE ET CONCENTRATIONS POUR LES LIEUX PUBLICS

Pour les lieux publics (41 sites, 213 échantillons), l'ensemble des résultats sont présentés dans la table 5. Les trois métaux les plus abondants dans les poussières déposées, en moyenne, sont l'Al, le Fe et le Zn avec des valeurs supérieures ou proches de 1 mg/m²; il s'agit d'un résultat similaire à celui observé dans les logements.

Les neuf autres métaux sont également mesurés, cependant à des teneurs plus faibles avec 95% des échantillons qui font apparaître des teneurs inférieures à 0.9 mg/m². Les Ba et Ti montrent les concentrations les plus importantes (0.88 et 0.79 mg/m², respectivement).

Enfin, la concentration surfacique maximale mesurée est celle du Fe, avec 226 mg/m².

[] mg/m ²	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Sn	Ti	Zn
Moyenne	1.909	<i>0.100</i>	0.188	<i>0.100</i>	0.102	0.207	4.523	0.148	0.129	<i>0.100</i>	0.303	0.819
Médiane	0.637	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	1.187	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	0.208	0.282
Percentile 90	3.828	<i>0.100</i>	0.285	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	0.297	6.982	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	0.507	1.468
Percentile 95	6.510	<i>0.100</i>	0.881	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	0.735	16.029	0.389	0.109	<i>0.100</i>	0.794	2.864
Percentile 99	16.691	<i>0.100</i>	1.428	<i>0.100</i>	0.154	1.873	49.309	1.115	0.667	<i>0.100</i>	1.724	10.545
Valeur min.	0.100	<i>0.100</i>	0.100	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>
Valeur max.	46.202	<i>0.100</i>	1.692	<i>0.100</i>	0.226	3.500	226.854	2.522	3.167	0.136	3.407	18.296

Table 5 : valeurs moyennes, statistiques en percentiles et min./max. des valeurs mesurées pour les 213 échantillons. Les valeurs italiques correspondent aux limites inférieures de quantification. Les valeurs surlignées sont discutées dans le texte. Pour tous les calculs statistiques, les limites de quantification inférieures ont été assimilées à la valeur de la LOQ.

Afin de pouvoir évaluer les situations par lieu public, la moyenne des valeurs mesurées pour chaque métal par lieu public a été calculée (Table 6). On peut en déduire le tableau de valeur suivant, permettant d'obtenir des valeurs de bruit de fond « moyen » par lieu public.

Les observations qualitatives sur les valeurs en concentrations surfaciques des métaux sont similaires aux résultats par échantillons.

[] mg/m ²	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Sn	Ti	Zn
Moyenne	2.315	<i>0.100</i>	0.204	<i>0.100</i>	0.102	0.229	5.310	0.163	0.137	<i>0.100</i>	0.334	0.961
Médiane	0.988	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	1.729	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	0.234	0.379
Percentile 90	3.853	<i>0.100</i>	0.381	<i>0.100</i>	0.101	0.413	9.112	0.207	0.116	<i>0.100</i>	0.459	2.278
Percentile 95	7.458	<i>0.100</i>	0.794	<i>0.100</i>	0.109	0.614	26.210	0.500	0.246	<i>0.100</i>	0.848	2.802
Percentile 99	21.085	<i>0.100</i>	1.009	<i>0.100</i>	0.137	1.700	54.820	0.925	0.812	0.105	1.697	8.789
Valeur min.	0.260	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	<i>0.100</i>	0.105	0.114
Valeur max.	29.171	<i>0.100</i>	1.016	<i>0.100</i>	0.148	2.150	70.725	0.926	1.108	0.109	2.228	10.365

Table 6 : valeurs moyennes, statistiques en percentiles et min./max. des valeurs mesurées moyennes pour les 41 lieux publics. Les valeurs italiques correspondent aux limites inférieures de quantification. Les valeurs surlignées sont discutées dans le texte. Pour tous les calculs statistiques, les limites de quantification inférieures ont été assimilées à la valeur de la LOQ.

OCURRENCE ET CONCENTRATIONS AUX ABORDS DE CHANTIERS

Les chantiers étant une source avérée de poussières, il est particulièrement intéressant d'évaluer les occurrences en métaux des poussières déposées aux abords de ces sites, étant accessibles au public et à l'intérieur du bâti. Ainsi, la triade « Al, Fe, Zn » précédemment observée dans les logements et les lieux publics est ici complétée par le Ba, le Cu, le Mn, le Pb et le Ti qui sont tous présents à plus de 1mg/m² en moyenne (Table 7).

Les concentrations des autres métaux (As, Cd, Cr et Sn) sont inférieures à 0.6 mg/m² dans 95% des échantillons. De manière similaires aux autres situations, la concentration maximale a été observée pour le Fe.

[] mg/m ²	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Sn	Ti	Zn
Moyenne	37.169	0.127	2.321	0.100	0.208	1.874	100.155	1.268	3.898	0.142	5.868	8.373
Médiane	10.410	0.100	0.475	0.100	0.100	0.221	17.990	0.200	0.146	0.100	1.493	1.910
Percentile 90	91.170	0.100	6.061	0.100	0.267	2.489	183.451	2.616	7.640	0.100	17.239	16.119
Percentile 95	172.103	0.252	12.776	0.100	0.600	9.816	340.207	5.585	17.890	0.251	29.195	41.522
Percentile 99	340.143	0.784	22.522	0.100	2.509	24.940	1746.98	15.905	77.208	1.159	58.687	92.237
Valeur min.	0.214	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.725	0.100	0.100	0.100	0.166	0.100
Valeur max.	945.411	0.954	22.943	0.100	4.064	51.209	1992.30	27.053	95.421	1.755	97.505	149.517

Table 7 : valeurs moyennes, statistiques en percentiles et min./max. des valeurs mesurées pour les 143 échantillons. Les valeurs italiques correspondent aux limites inférieures de quantification. Les valeurs surlignées sont discutées dans le texte. Pour tous les calculs statistiques, les limites de quantification inférieures ont été assimilées à la valeur de la LOQ.

Afin de pouvoir évaluer les situations par chantier, la moyenne des valeurs mesurées pour chaque métal sur un site a été calculée (Table 8). On peut en déduire le tableau de valeur suivant, permettant d'obtenir des valeurs de bruit de fond « moyen » aux abords de chantiers.

En ce qui concerne le plomb, la concentration surfacique moyenne est supérieure à 1 mg/m² dans 43% des situations.

[] mg/m ²	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Sn	Ti	Zn
Moyenne	44.113	0.129	2.486	0.100	0.235	2.113	115.935	1.463	3.438	0.155	6.766	8.614
Médiane	21.381	0.100	1.148	0.100	0.106	0.578	33.525	0.488	0.322	0.100	2.984	3.041
Percentile 90	95.701	0.224	7.057	0.100	0.497	4.793	455.549	4.619	12.528	0.259	17.241	19.750
Percentile 95	127.009	0.259	10.107	0.100	0.718	5.180	488.447	5.510	16.729	0.286	20.857	34.692
Percentile 99	274.056	0.304	11.003	0.100	1.255	19.065	592.515	6.840	19.642	0.846	31.570	44.084
Valeur min.	2.592	0.100	0.100	0.100	0.100	0.109	2.592	0.100	0.100	0.100	0.329	0.422
Valeur max.	324.640	0.314	11.194	0.100	1.421	24.704	634.887	7.231	19.788	1.069	35.213	45.919

Table 8 : valeurs moyennes, statistiques en percentiles et min./max. des valeurs mesurées moyennes pour les 30 « abords de chantiers ». Les valeurs italiques correspondent aux limites inférieures de quantification. Les valeurs surlignées sont discutées dans le texte. Pour tous les calculs statistiques, les limites de quantification inférieures ont été assimilées à la valeur de la LOQ.

Les teneurs surfaciques en différents métaux ont été évalués dans des poussières déposées de logements lors d'une campagne nationale en France pour l'évaluation d'exposition des enfants (Glorennec et al., 2012). L'analyse montre des niveaux d'éléments métalliques dans les poussières intérieures à partir de mesures par lingettes. Les percentiles 95 des teneurs surfaciques étaient de 2 µg/m² pour l'As, 0.8 µg/m² pour le Cd, 18 µg/m² pour le Cr, 49 µg/m² pour le Cu, 64 µg/m² pour le Mn, et 63 µg/m² pour le Pb. Nos résultats dans les logements montrent des valeurs sensiblement plus élevées ou du même ordre de grandeur (ex. 41 µg/m² pour le Cr, 315 µg/m² pour le Cu et 71 µg/m² pour le Pb). Ces valeurs des percentiles 95 sont également comparables à celles mesurées dans des logements au Canada (McDonald, 2010) avec par exemple 33 µg/m² pour le Cr total, 20 µg/m² pour le Cu et 61 µg/m² pour le Pb.

Le plomb reste le métal le plus étudié dans les poussières intérieures et les valeurs médianes relevées dans les publications scientifiques sont de l'ordre de 8-98 µg/m² (Larsson et Berglund, 2018), une gamme de concentration qui englobe les valeurs médianes mesurées ici pour les logements et les lieux publics. Pour les logements, la médiane de l'ensemble des données reportées dans les publications est parfaitement en accord avec la médiane mesurée ici (10 µg/m²). La table 9 est adaptée des résultats obtenus par Larsson et Berglund, 2018 et comparés aux valeurs de cette campagne.

µg/m ²	Larsson et Berglund, 2018				Logement		Lieux publics		Abords de chantiers	
	N*	Mediane	Gamme des médiane	Min. Max.	Médiane	Min. Max.	Médiane	Min. Max.	Médiane	Min. Max.
Al	1	15076	15076	724 113200	546	123 10803	637	<LOQ (100) 46202	10410	214 945411
As	3	0.7	<LOQ-1.34	<LOQ 161	9	7 31	<LOQ (100)	<LOQ (100)	<LOQ (100)	<LOQ (100) 954
Cd	3	0.3	<LOQ-6	<LOQ 57	1	0.3 11	<LOQ (100)	<LOQ (100)	<LOQ (100)	<LOQ (100)
Cr	3	7.7	<LOQ-93	<LOQ 2930	9	3 88	<LOQ (100)	<LOQ (100) 226	<LOQ (100)	<LOQ (100) 4064
Cu	3	15	<LOQ-201	<LOQ 2433	87	51 1154	<LOQ (100)	<LOQ (100) 3500	221	<LOQ (100) 51209
Fe	1	15196	15196	700 131400	716	297 31787	1187	<LOQ (100) 226854	17990	725 1992300
Mn	2	<LOQ	<LOQ-330	<LOQ 3538	16	7 773	<LOQ (100)	<LOQ (100) 2522	200	<LOQ (100) 27053
Pb	4	10	7.5-98	<LOQ 2189	10	3 374	<LOQ (100)	<LOQ (100) 3167	146	<LOQ (100) 95421
Zn	2	729	55-1403	0.8 8888	1338	988 4188	282	<LOQ (100) 18296	1910	<LOQ (100) 149517

Table 9 : Comparaison des valeurs obtenues lors de cette campagne d'évaluation par rapport à des valeurs reportées dans la littérature. *Nombre de médianes reportées. (Table adaptée de Larsson et Berglund, 2018).

De nombreuses autres publications font également état des concentrations en métaux dans les poussières déposées en air intérieur, dans de nombreux pays pour des logements ou écoles (Al-Rajhi et al., 1996; Tong et Lam, 2000; Modh et al., 2007; Darus et al., 2012 ; Hassan, 2012; Kurt-Karakus, 2012; Popoola et al., 2012; Chen et al., 2014 ; Latif et al., 2013 ; Lu et al., 2014 ; Praveena et al., 2015 ; Chen et al., 2016). Cependant, ces études font référence à des teneurs massiques (mg/g) ce qui empêche une mise en perspective avec les valeurs mesurées ici.

La comparaison des résultats obtenus aux valeurs de recommandations existantes aux Etats-Unis pour l'As, le Cd et le Pb permettent de calculer le pourcentage d'échantillons qui se situent au-dessus de ces seuils (Table 10). Le taux de dépassement par rapport au seuil de 430 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ atteint 40% des échantillons aux abords de chantiers, répartis sur 67% des chantiers. La même comparaison peut être faite avec le seuil de 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ de Pb qui s'applique, en France, aux poussières déposées après un assainissement. Dans ce cas, environ 30% des échantillons présentent un dépassement, répartis sur 43% des chantiers (Table 10). Par ailleurs, on peut noter la présence de 2 échantillons dépassant légèrement le seuil de 670 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ d'As, correspondant à 7% des sites évalués (2 abords de chantiers).

	Seuil US [$\mu\text{g}/\text{m}^2$]	Seuil FR [$\mu\text{g}/\text{m}^2$]	Taux de dépassement (%)		
			Logements (échantillons / sites*)	Lieux publics (échantillons / sites*)	Abords chantiers (échantillons / sites*)
As	670	-	0	0	1.4 / 7
Cd	330	-	0	0	0
Pb	430	-	0	3 / 7	39 / 67
Pb	-	1000	0	0.5 / 2.5	31 / 43
Pb	-	40	6 / 28	non applicable	non applicable

Table 10 : Taux de dépassement estimés en fonction de seuils existants aux Etats-Unis et en France. *Taux de dépassement estimé par site comportant au minimum un échantillon dépassant un seuil.

Pour les lieux publics, les seuils de 430 et 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ sont dépassés dans 7 et 2.5% des sites respectivement. Dans tous les cas, il s'agit de salles de spectacles ou de musées.

Pour les logements, aucun dépassement des seuils recommandés ou réglementaires (US et France) n'est observé. A titre de comparaison, le seuil de 430 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ de Pb pour le plomb a été dépassé dans 0.2% et 3% des échantillons de poussières déposées, dans les logements, en France et au Canada respectivement (Levallois et al., 2014; Lucas et al., 2012).

Concernant le plomb, toutes les données se réfèrent à des concentrations totales obtenues par minéralisation acide, à l'instar de ce qui a été réalisé dans notre étude. Il faut souligner que le seuil réglementaire français de 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^2$, s'applique au plomb dosé après extraction acido-soluble selon la norme NF X 46-032, qui correspond approximativement à 80% du plomb total (Lucas et al. 2012). Enfin, si l'on considère la valeur de « réflexion » de 70 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ concernant les poussières déposées dans les bâtiments accueillant des enfants et femmes enceintes, on peut noter que 6% des échantillons dépassent ce critère, correspondant à 28% des logements. Ces pourcentages ne sont pas représentatifs d'une situation globale car ils se réfèrent à un faible nombre de sites échantillonnés.

7. CONCLUSION

La campagne d'échantillonnage et d'analyse de poussières déposées de différents milieux intérieurs a permis d'établir, pour la première fois, des niveaux de concentrations pour 12 éléments métalliques dans des logements, des lieux publics et aux abords de chantiers.

Par comparaison à des études internationales, il ressort que la situation dans les logements et les lieux publics du canton de Genève ne diffère pas significativement des concentrations

usuellement mesurées dans les milieux intérieurs. Les concentrations mesurées représentent majoritairement des concentrations de fond diffus environnemental.

En revanche, les poussières déposées aux abords de chantiers, qui sont des espaces accessibles au public, présentent des concentrations surfaciques en métaux beaucoup plus élevées que dans les logements et lieux publics. Ces sites représentent donc un danger potentiel d'exposition à des poussières toxiques pour la population.

A l'heure actuelle, aucune législation ni valeur guide, n'existe pour déterminer si une concentration particulière dans les poussières déposées pose un risque significatif d'exposition des personnes avec des conséquences sur la santé à court ou long terme. A la lumière de quelques valeurs seuils existantes dans d'autres pays, une première évaluation permet cependant de pointer le rôle prépondérant du plomb comme facteur de risque.

En se basant sur le seuil le plus protecteur, soit 430 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ pour le plomb, 7% des lieux publics investigués font apparaître au moins un échantillon dépassant ce seuil. En considérant les abords de chantiers, la proportion atteint 67%. Ce seuil n'est en revanche dépassé dans aucun logement.

Cette première étude met donc en évidence une source avérée de nombreux métaux sous forme de poussières déposées, aux abords de chantiers. Plus particulièrement, les poussières déposées contenant du plomb, constituent une réelle préoccupation de santé publique. En l'absence de valeur guide en Suisse, il serait souhaitable de limiter autant que possible l'émission globale de poussières de chantiers et de procéder à des contrôles réguliers sur les chantiers afin d'identifier rapidement des situations problématiques. Enfin, il apparaît nécessaire de continuer à évaluer plus précisément ces situations problématiques afin de mieux cerner les sources de contamination et les conséquences en terme de risques d'exposition.

8. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les différentes entités ayant participé aux échantillonnages et aux analyses, notamment Ecotec Environnement SA (Genève), Tera Environnement SAS (Fuveau, France) et le laboratoire SECOE (Etat de Genève).

9. BIBLIOGRAPHIE

Al-Rajhi, M. A.; Seaward, M. R. D.; Al-Aamer, A. S., Metal levels in indoor and outdoor dust in Riyadh, Saudi Arabia. *Environment international* 1996, 22, (3), 315-324.

ANSES, Exposition aux poussières sédimentées dans les environnements intérieurs, 2018, rapport d'expertise collective de l'agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

Chen, H.; Lu, X.; Chang, Y.; Xue, W., Heavy metal contamination in dust from kindergartens and elementary schools in Xi'an, China. *Environmental Earth Sciences* 2014, 71, (6), 2701-2709.

Chen, H.; Lu, X.; Gao, T.; Chang, Y., Identifying Hot-Spots of Metal Contamination in Campus Dust of Xi'an, China. *International journal of environmental research and public health* 2016, 13, (6).

Glorennec, P.; Lucas, J. P.; Mandin, C.; Le Bot, B., French children's exposure to metals via ingestion of indoor dust, outdoor playground dust and soil: contamination data. *Environment international* 2012, 45, 129-34.

Glorennec, P.; Lucas, J. P.; Mercat, A. C.; Roudot, A. C.; Le Bot, B., Environmental and dietary exposure of young children to inorganic trace elements. *Environment international* 2016, 97, 28-36.

Hassan, S., Metal concentrations and distribution in the household, stairs and entryway dust of some Egyptian homes. *Atmospheric Environment* 2012, 54, 207–215.

Kurt-Karakus, P. B., Determination of heavy metals in indoor dust from Istanbul, Turkey: estimation of the health risk. *Environment international* 2012, 50, 47-55.

Larsson, K.; Berglund, M., Children's exposure to chemicals in indoor environments-a literature survey of chemicals in dust. In 2018.

Latif, M. T.; Yong, S.; Saad, A.; Mohamad, N.; Baharudin, N.; Mokhtar, M.; Mohd Tahir, N., Composition of heavy metals in indoor dust and their possible exposure: A case study of preschool children in Malaysia. *Air Quality, Atmosphere & Health* 2013, 7.

Levallois P, St-Laurent J, Gauvin D, Courteau M, Prevost M, Campagna C, et al. The impact of drinking water, indoor dust and paint on blood lead levels of children aged 1-5 years in Montreal (Quebec, Canada). *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2014;24(2):185-191

Lu, X.; Zhang, X.; Li, L. Y.; Chen, H., Assessment of metals pollution and health risk in dust from nursery schools in Xi'an, China. *Environmental research* 2014, 128, 27-34.

Lucas, J. P.; Le Bot, B.; Glorennec, P.; Etchevers, A.; Bretin, P.; Douay, F.; Sébille, V.; Bellanger, L.; Mandin, C., Lead contamination in French children's homes and environment. *Environmental research* 2012, 116, 58-65.

Lucattini, L.; Poma, G.; Covaci, A.; de Boer, J.; Lamoree, M. H.; Leonards, P. E. G., A review of semi-volatile organic compounds (SVOCs) in the indoor environment: occurrence in consumer products, indoor air and dust. *Chemosphere* 2018, 201, 466-482.

McDonald, L. T.; Rasmussen, P. E.; Chénier, M.; Levesque, C., Extending wipe sampling methodologies to elements other than lead. *Journal of environmental monitoring* 2011, 13, (2), 377-83.

Mohd Tahir, N.; Poh, S.-C.; Jaafar, M., Determination of heavy metals content in soils and indoor dusts from nurseries in Dungun, Terengganu. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences* 2007, 11.

Darus Muhamad, F.; Nasir, R. A.; Sumari, S.; Ismail, Z.; Omar, N., Heavy Metals Composition of Indoor Dust in Nursery Schools Building. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 2012, 38, 169-175.

Obeng-Gyasi, E. (2019). Sources of lead exposure in various countries, *Reviews on Environmental Health*, 34(1), 25-34.

Popoola, O.; Bamgbose, O.; Okonkwo, O. J.; Arowolo, T.; Popoola, A.; Awofolu, O., Heavy Metals Content in Classroom Dust of Some Public Primary Schools in Metropolitan Lagos, Nigeria. *Res. J. Environ. Earth Sci.* 2012, 4, 460-465.

Praveena, S. M.; Abdul Mutalib, N. S.; Aris, A. Z., Determination of heavy metals in indoor dust from primary school (Sri Serdang, Malaysia): estimation of the health risks. *Environmental Forensics* 2015, 16, (3), 257-263.

Tan, S. Y.; Praveena, S. M.; Abidin, E. Z.; Cheema, M. S., A review of heavy metals in indoor dust and its human health-risk implications. *Reviews on environmental health* 2016, 31, (4), 447-456.

Tong, S. T.; Lam, K. C., Home sweet home? A case study of household dust contamination in Hong Kong. *The Science of the total environment* 2000, 256, (2-3), 115-23.