

# Prise en compte de la contamination en métaux lourds des sols et des poussières dans l'évaluation des risques sanitaires de la population vivant sur des sols pollués

Période : janvier 2012 à mars 2012

**Muriel MAZZUCA**

\* PRES Lille Nord de France - UDSL – EA 4483 Impact de l'environnement chimique sur la santé humaine – Lille

**Mots clés : Évaluation des risques, Métaux lourds, Poussière, Sol, Technique d'analyse, Techniques de prélèvement**

La contamination des sols et des poussières par les métaux lourds peut engendrer des risques sanitaires en raison de l'ingestion, de l'inhalation et du contact cutané (1,2), en particulier pour les jeunes enfants (3-5). En effet, les activités normales de portage main-bouche les conduisent à l'ingestion importante de sols et de poussières aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de leur lieu de vie (6,7). Il est alors important de pouvoir quantifier les différents risques d'exposition pour les usagers de sols urbains (loisirs ou de maison). Les recommandations pour réaliser une évaluation du risque sanitaire à proximité de sols contaminés préconisent, concernant l'appréhension des sols et des poussières, de tenir compte des concentrations totales en métaux et de les tamiser à 250 µm (8). De plus, le broyage des sols est également indiqué (9-12). Les risques réellement encourus dépendent de la fraction soluble des éléments dans le tractus gastro-intestinal disponibles pour l'absorption. L'évaluation plus réaliste des risques sanitaires aux métaux nécessiterait une évaluation de la fraction métallique bioaccessible<sup>(1)</sup> pour ne pas la surévaluer (13-16).

Le premier article détermine s'il existe des différences significatives entre la granulométrie des particules de sols et de poussières de maisons et leurs concentrations en métaux. Le second tente d'évaluer les risques cancérigènes et non-cancérigènes des métaux lourds présents dans les terres de parcs urbains en comparant les résultats obtenus en utilisant, soit les valeurs totales en métaux, soit les valeurs de bioaccessibilité.

Ils remettent tous deux en cause les préconisations indiquées dans les guides d'évaluation des risques sanitaires.

## Les différences entre la taille des particules des poussières de maison et des sols et leurs concentrations en métaux

Beamer PI, Elish CA, Roe DJ, Loh MM, Layton DW. Differences in metal concentration by particle size in house dust and soil. *J Environ Monit* 2012;14(3):839-44

### Résumé

Les auteurs ont étudié s'il existait des différences significatives entre la concentration en métaux présents dans les particules de sols et de poussières de maison et la taille de ces particules. Pour cela, ils ont recueilli des poussières de maison à l'aide d'un aspirateur sur deux types de revêtements de sols (plancher et moquette) jusqu'à obtenir 2 g de poussières et des échantillons composites de sol dans 10 maisons situées à proximité de sites de déchets contaminés à Tucson en Arizona. La profondeur de prélèvement de sol n'est pas précisée, seule l'utilisation d'une truelle est indiquée. Ils ont ensuite tamisé les différents échantillons recueillis à plusieurs fractions granulométriques. Seules les fractions comprises entre 150 µm et 63 µm et celles < 63 µm ont été analysées. 500 mg de ces fractions ont été

digérés dans 10 mL d'HNO<sub>3</sub><sup>(2)</sup> puis 30 éléments ont été dosés. Les résultats de comparaison entre les deux fractions montrent qu'il existe une différence significative entre la taille des particules et les concentrations en métaux avec des concentrations plus élevées dans les particules < 63 µm. Ceci a été démontré pour le Mg, Ca, Cr, Co, Cu, Ge, Zr, Ag, Ba et Pb contenus dans les sols et pour Be, Al, V et Mo contenus dans les poussières de maison. Les auteurs montrent également que sur des échantillons pris en double dans la même maison, il existe des différences pour les sols de 14 % et 17 % et pour les poussières de 56 % et 59 % entre les fractions granulométriques comprises entre 150 µm et 63 µm et celles < 63 µm, respectivement, ce qui les amène à s'interroger sur l'importance des techniques de prélèvements et d'homogénéisation des échantillons.

### Commentaire

Les auteurs ont fait le choix d'analyser des particules de sols et de poussières de tailles granulométriques bien inférieures à celles de 250 µm préconisées dans les guides d'évaluation des risques étant donné que celles-ci adhèrent mieux aux mains des enfants (17,18).

Ils démontrent ainsi qu'en utilisant la fraction des particules < 250 µm, comme indiqué dans les guides, l'évaluation des risques d'exposition des jeunes enfants peut être sous-estimée. Concernant l'homogénéisation des prélèvements obtenus, qui pourrait s'avérer nécessaire pour ne plus avoir de différence de concentrations entre des échantillons multiples provenant d'une même source, ils indiquent que le broyage, déjà souvent usité, ne serait pas une bonne solution. Néanmoins, ils ne s'intéressent pas au mode préalable de digestion des particules avant analyse et suggèrent même de pouvoir utiliser de l'HF<sup>(3)</sup> pour mieux les minéraliser, ce qui surestimerait les concentrations en métaux accessibles à l'organisme. De plus, ils n'indiquent pas quel horizon de terre a été prélevé, or il est montré qu'il est plus judicieux de prélever l'horizon 2 cm afin de caractériser le sol directement en contact avec les enfants (19-21). Enfin, il ne faut pas négliger le fait que les analyses statistiques ont été réalisées sur 10 échantillons et que pour confirmer ces résultats, les mêmes analyses devraient être entreprises sur un plus grand nombre d'échantillons. En conclusion, cet article soulève des points intéressants concernant les méthodes de prélèvement et d'analyse de sols et de poussières nécessaires pour pouvoir réaliser une évaluation des risques sanitaires aux métaux lourds sur des sites contaminés mais ceux-ci restent à valider et à compléter.

### Intégration de la bioaccessibilité des métaux lourds dans l'évaluation des risques sanitaires des sols de parcs urbains

Luo XS, Ding J, Xu B, Wang YJ, Li HB, Yu S. Incorporating bioaccessibility into human health risk assessments of heavy metals in urban park soils. *Sci Total Environ* 2012;424:88-96

#### Résumé

Cette étude vise à caractériser le risque sanitaire cancérigène et non cancérigène de 40 sols provenant de 14 parcs de l'île de Xiamen en Chine. Cette caractérisation du risque a été réalisée grâce à un ajustement multivoie (ingestion, inhalation, voie cutanée). L'objectif est de comparer les résultats obtenus concernant l'évaluation des risques aux métaux multivoie en utilisant pour la voie digestive, soit des teneurs de bioaccessibilité, soit des teneurs pseudo-totales en métaux. Les échantillons de sols ont été recueillis sur un horizon de 5 cm et ont été broyés et tamisés à 150 µm. Les concentrations pseudo-totales en métaux ont été déterminées par une méthode de digestion à l'acide (HNO<sub>3</sub> - HClO<sub>4</sub><sup>(4)</sup>). La détermination de la bioaccessibilité a été réalisée à l'aide de la méthode SBET<sup>(5)</sup>. La bioaccessibilité des métaux obtenue a été comparée à d'autres résultats acquis sur des sols italiens (22) et espagnols (23). Cette comparaison indique que la bioaccessibilité est très variable entre les sols de villes différentes et suggère l'influence de certaines propriétés physico-chimiques des sols. Ainsi, les auteurs ont tenté d'établir des équations de régression linéaire entre la bioaccessibilité des sols et des paramètres comme le pH, la texture du sol, le pourcentage de carbone organique, la conductivité et les concentrations pseudo-totales en métaux. Les auteurs ont ensuite calculé un indice de risque cancérigène et non cancérigène pour les métaux.

Concernant le risque non cancérigène, celui-ci est inférieur à 1 pour chacun des métaux quelles que soient les concentrations en métaux utilisées. En revanche, le risque cancérigène est avéré concernant l'ingestion et le contact cutané avec les deux calculs de concentrations, ainsi que le risque cancérigène dû à la présence de chrome. Ces risques cancérigènes obtenus sont néanmoins atténués lors de la prise en compte des valeurs de bioaccessibilité.

#### Commentaire

Nous pouvons nous interroger sur la méthode de mesure de la bioaccessibilité. En effet, la bioaccessibilité représente ce qui se passe dans le tractus gastro-intestinal et il existe à ce jour plusieurs modèles de digestion gastrique plus ou moins complet qui simulent l'action des sucs gastriques, mais aussi salivaires et intestinaux (24-29). Le modèle utilisé par les auteurs est le plus simple et consiste à ajouter à 1 g de sol, 100 mL de glycérine à un pH de 1,5 puis de réaliser une filtration avant dosage. De plus, pour établir des équations afin de relier la bioaccessibilité des métaux aux concentrations totales en métaux, les auteurs utilisent certains paramètres physico-chimiques. Or, des travaux ont montré que les paramètres utilisés par les auteurs ne suffisent pas pour expliquer la bioaccessibilité (30-34), comme la solubilité (24), la spéciation de l'élément (35-37), et les concentrations en Fe, Mn, P et Al et celles de leurs oxydes (38-40).

En conclusion, la méthode utilisée pour calculer la bioaccessibilité pourrait être revue ainsi que les paramètres utilisés pour l'expliquer, même si les résultats obtenus soulèvent l'existence d'un risque sanitaire cancérigène avec la prise en compte de la bioaccessibilité des métaux.

#### CONCLUSION GÉNÉRALE

L'évaluation des risques encourus par l'Homme à proximité de sites contaminés reste difficile à appréhender. En effet, même si des guides méthodologiques existent, les scientifiques souhaitent développer des approches plus réalistes. Les méthodes de prélèvements et d'analyses des compartiments de l'environnement comme les sols et les poussières sont souvent différentes et les résultats obtenus ne peuvent être comparés. Certains s'interrogent aussi sur l'élaboration d'une approche standardisée pour utiliser des données de bioaccessibilité des métaux dans l'évaluation des risques sanitaires des sols pollués (41, 42). Il serait alors nécessaire d'établir des recommandations adaptées et utilisées par tous pour la réalisation de ces évaluations de risque sanitaire.

## Lexique

- (1) Fraction bioaccessible : la fraction bioaccessible d'un polluant correspond à la fraction de polluants extraite depuis le sol lors de la digestion gastro-intestinale et qui se trouve ainsi dans le jus gastrique (le chyme). Cette fraction représente la quantité maximale de contaminants disponibles pouvant traverser les membranes de l'estomac et de l'intestin (43).
- (2) HNO<sub>3</sub> : acide nitrique.
- (3) HF : acide fluorhydrique.
- (4) HClO<sub>4</sub> : acide perchlorique.
- (5) SBET : Simplified Bioaccessibility Extraction Test (44).
- (6) US EPA : US Environmental Protection Agency (Agence Américaine pour la Protection de l'Environnement).
- (7) US DOE : US Department of Energy (Département de l'énergie).

## Publications de référence

- (1) **Paustenbach DJ.** The practice of exposure assessment : a state-of-the-art review. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 2000;3:179-291.
- (2) **Lauwerys RR.** Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles, Ed. Masson, 4<sup>e</sup> édition, 2003.
- (3) **Wilson J, Dixon S, Galke W, et al.** An investigation of dust lead sampling locations and children's blood lead levels. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2007;17(1):2-12.
- (4) **Beamer PI, Canales RA, Bradman A, et al.** Farmworker children's residential non-dietary exposure estimates from micro-level activity time series. *Environ Int* 2009;35(8):1202-9
- (5) **Li HB, Yu S, Li GL, et al.** Contamination and source differentiation of Pb in park soils along an urban-rural gradient in Shanghai. *Environ Pollut* 2011;159:3536-44
- (6) **Duggan MJ and Inskip MJ.** Childhood exposure to lead in surface dust and soil: a community health problem. *Publ Health Rev* 1985;13:1-54
- (7) **Hwang YH, Bornschein RL, Grote J, et al.** Environmental arsenic exposure of children around a former copper smelter site. *Environ Res* 1997;72(1):72-81.
- (8) **US EPA (6).** TRW Recommendations for sampling and analysis of soil at lead site, #540-F-00-010, US Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC, 2000.
- (9) **US EPA.** Risk assessment guidance for Superfund. Volume I: human health evaluation manual (Part A), EPA/540/1-89/002, Interim Final. US Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1989.
- (10) **US EPA.** Risk assessment guidance for Superfund (RAGS): Volume I, human health evaluation manual (Part E), EPA/540/R/99/005, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2004.
- (11) **US EPA.** Screening Levels (RSL) for chemical contaminants at superfund sites. US Environmental Protection Agency; 2011.
- (12) **US DOE<sup>(7)</sup>.** The Risk Assessment Information System (RAIS). U.S. Department of Energy's Oak Ridge Operations Office (ORO), 2011.
- (13) **Hamel SC, Ellickson KM, Lioy PJ.** The estimation of the bioaccessibility of heavy metals in soils using artificial biofluids by two novel methods: mass-balance and soil recapture. *Sci Total Environ* 1999;243-244:273-283
- (14) **Basta NT, Ryan JA, Chaney RL.** Trace element chemistry in residual-treated soil: Key concepts and metal bioavailability. *J Environ Qual* 2005;34:49-63.
- (15) **Guney M, Zagury GJ, Dogan N, et al.** Exposure assessment and risk characterization from trace elements following soil ingestion by children exposed to playgrounds, parks and picnic areas. *J Hazard Mater* 2010;182:656-64.
- (16) **Hu X, Zhang Y, Luo J, et al.** Bioaccessibility and health risk of arsenic, mercury and other metals in urban street dusts from a mega-city, Nanjing, China. *Environ Pollut* 2011;159:1215-21.
- (17) **Driver JH, Konz JJ, Whitmyre GK.** Soil adherence to human skin. *Bull Environ Contam Toxicol* 1989;43:814-20.
- (18) **Sheppard SC and Evenden WG.** Contaminant Enrichment and Properties of Soil Adhering to Skin. *J Environ Qual* 1994;23(3):604-13.
- (19) **Bornschein RL, Succop P, Dietrich KN, et al.** The influence of social and environmental factors on dust lead, hand lead and blood lead levels in young children. *Environ Res* 1985;108:108-118.
- (20) **Lanphear BP and Roghmann KJ.** Pathways of lead exposure in urban children *Environ. Res* 1997;74:67-73
- (21) **Lanphear BP, Matte TD, Rogers J, et al.** The contribution of lead contaminated house dust and residential soil to children's blood lead level - a pooled analysis of 12 epidemiologic studies *Environ Res* 1998;79(A):51-68
- (22) **Poggio L, Vrscaj B, Schulin R, et al.** Metals pollution and human bioaccessibility of topsoils in Grugliasco (Italy). *Environ Pollut* 2009;157:680-9
- (23) **Madrid F, Biasioli M, Ajmone-Marsan F.** Availability and bioaccessibility of metals in fine particles of some urban soils. *Arch Environ Contam Toxicol* 2008;55:21-32
- (24) **Ruby MV, Davis A, Link TE, et al.** Development of an *in vitro* screening test to evaluate the *in vivo* bioaccessibility of ingested mine-waste lead. *Environ Sci Technol* 1993;27:2870-77.
- (25) **Minekus M, Marteau P, Havenaar R, et al.** A multicompartmental dynamic computercontrolled model simulating the stomach and small-intestine. *Alta.* 1995; 23(2):197-209.
- (26) **Basta N and Gradwohl R.** Estimation of Cd, Pb, and Zn bioavailability in smelter-contaminated soils by a sequential extraction procedure. *J Soil Contam* 2000;9:149-164.
- (27) **Oomen AG, Hack A, Minekus M, et al.** Comparison of five *in vitro* digestion models to study the bioaccessibility of soil contaminants. *Environ Sci Technol* 2002;36:3326-34
- (28) **Wragg J, Cave M, Basta N, et al.** An inter-laboratory trial of the unified BARGE bioaccessibility method for arsenic, cadmium and lead in soil. *Sci Total Environ* 2011;409(19):4016-30.
- (29) **Juhász AL, Smith E, Weber J, et al.** Comparison of *in vivo* and *in vitro* methodologies for the assessment of arsenic bioavailability in contaminated soils. *Chemosphere* 2007;69:961-966.

- (30) **Ruby MV, Davis A, Schoof R, et al.** Estimation of lead and arsenic bioavailability using a physiologically based extraction test. *Environ Sci Technol* 1996;30:422-30.
- (31) **Ruby MV.** Bioavailability of soil-borne chemicals: abiotic assessments tools. *Hum Ecol Risk Assess* 2004;10:647-56.
- (32) **Denys S, Caboche J, Tack K, et al.** Bioaccessibility of lead in high carbonate soils. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 2007;42(9):1331-9.
- (33) **Fairbrother A, Wenstel RW, Sappington K, et al.** Framework for metals risk assessment. *Ecotoxicol Environ Saf* 2007;68:145-227.
- (34) **Van de Wiele TR, Oomen AG, Wragg J, et al.** Comparison of five *in vitro* digestion models to *in vivo* experimental results: lead bioaccessibility in the human gastrointestinal tract. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng. United States*; 2007;1203-11.
- (35) **Rieuwerts JS, Thornton I, Farago ME, et al.** Factors influencing metal bioavailability in soils: preliminary investigation for the development of a critical loads approach for metals. *Chem Spec Bioavail* 1998;10:61-75.
- (36) **Hund-Rink K and Kördel W.** Underlying issues in bioaccessibility and bioavailability: experimental approach methods. *Ecotoxicol Environ Saf* 2003;56(1):52-62.
- (37) **Caboche J, Denys S, Feidt C, et al.** Modelling Pb bioaccessibility in soils contaminated by mining and smelting activities. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 2010;45(10):1264-74.
- (38) **Lothenbach B, Furrer G, Schärli H, et al.** Immobilization of zinc and cadmium by montmorillonite compounds: Effect of aging and subsequent acidification. *Environ Sci Technol* 1999;33:2945-2952.
- (39) **Davranche M and Bollinger JC.** Release of metals from iron oxyhydroxides under reductive conditions: Effects of metal/solid interactions. *J Colloid Interface Sci* 2000;232:165-173.
- (40) **Violante A, Ricciardella M, Pigna M.** Adsorption of heavy metals on mixed Fe-Al oxides in the absence or presence of inorganic ligands. *Water, Air, Soil Pollut* 2003;145:289-306.
- (41) **Latawiec AE, Simmons P, Reid BJ.** Decision-makers' perspectives on the use of bioaccessibility for risk-based regulation of contaminated land. *Environ Int* 2010;36(4):383-389.
- (42) **Wragg J and Cave MR.** *In vitro* Methods for the Measurement of the Oral Bioaccessibility of Selected Metals and Metalloids in Soils: A Critical Review. 2003; P5e062/TR/01. British Geological Survey, 33 pp. <http://publications.environment-agency.gov.uk/PDF/SP5-062-TR-1-E-E.pdf>
- (43) **Sips AJAM and Van Eijkeren JCH.** Oral bioavailability of heavy metals and organic compounds from soil: too complicated to adsorb? An inventarisation of factors affecting bioavailability of environmental contaminants from soil. RIVM Bithoven, Netherlands. Report 1996;no 711701002: 36 pp. <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701002.pdf>
- (44) **Medlin EA.** An *in vitro* method for estimating the relative bioavailability of lead in humans. Master's thesis, Department of Geological Sciences, University of Colorado at Boulder, 1997. <http://books.google.fr/books?id=GKpBOAAACAAJ>

## Autres publications identifiées

**Zhao H, Xia B, Fan C, et al.** Human health risk from soil heavy metal contamination under different land uses near Dabaoshan Mine, Southern China. *Sci Total Environ* 2012;15(417-418):45-54. *Les auteurs utilisent une simulation d'indicateur séquentielle (SIS) pour délimiter spatialement les zones de contamination des sols en utilisant les résultats de prélèvements de sols et de végétaux (riz et légumes), le pH du sol et des images obtenues par télédétection. Ils ont également développé un modèle d'absorption des métaux dans le système sol-plante qu'ils ont intégré à leur démarche de simulation ainsi qu'un modèle d'évaluation des risques sanitaires multivoie. Ainsi, ils concluent que même si la contamination des sols caractérisée par des concentrations élevées en métaux est importante pour évaluer le risque sanitaire de la population, le pH et le mode d'utilisation des sols sont des données à prendre en compte. Ils indiquent également que dans la zone étudiée, le Cd reste le polluant le plus préoccupant pour la santé humaine.*

**Han Z, Bi X, Li Z, et al.** Occurrence, speciation and bioaccessibility of lead in Chinese rural household dust and the associated health risk to children. *Atmos Environ* 2012;46:65-70. *Cette étude, qui ne concerne que le Pb, cherche à identifier les facteurs qui peuvent influencer la bioaccessibilité du Pb présent dans les poussières de maison. Ainsi, ils ont étudié la spéciation du Pb dans les poussières. Ils montrent que la majeure partie du Pb est liée aux phases oxydées de Fe-Mn et que la bioaccessibilité est corrélée de façon significative avec ces phases. Ils concluent alors que l'ingestion des particules de poussières est la voie d'exposition la plus préoccupante pour les enfants.*

## Mots clés utilisés pour la recherche bibliographique

Dust, Health, Heavy metal, Metal contamination, Soil.

## Conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent :

- n'avoir aucun conflit d'intérêt ;  
 avoir un ou plusieurs conflits d'intérêt.