

# Contamination des sols urbains : rôle crucial du type et de la qualité des données pour l'évaluation des risques

Période : avril 2015 à août 2015

**Thierry LEBEAU** | [thierry.lebeau@univ-nantes.fr](mailto:thierry.lebeau@univ-nantes.fr)

Université de Nantes - LPG-Nantes, UMR 6112 CNRS – Nantes - France

Mots clés : sols urbains, métaux, évaluation des risques

En 2000, les États membres des Nations Unies signaient la déclaration du Millénaire (1) dont l'un des objectifs était d'éradiquer l'extrême pauvreté et la famine, tout en assurant la durabilité environnementale. Force est de constater que l'objectif d'un accès à une alimentation suffisante et de qualité est loin d'être atteint, dans un contexte d'augmentation rapide de la population mondiale. Dans le même temps, l'agriculture urbaine et péri-urbaine se développe dans le monde entier, ce qui pourrait, pour partie, améliorer l'accès aux biens alimentaires. Pour autant, cette agriculture menée sur des sols de qualité souvent très hétérogène liée à l'histoire urbaine (déplacement de terre, mélange à des remblais, passif industriel ayant occasionné des enrichissements en contaminants, etc), pose la question du risque pour les populations face à l'exposition indirecte liée à la consommation de végétaux produits sur ces sols et l'exposition directe par ingestion de terre (notamment par les enfants). Saumel et al. (2) ont par ailleurs montré que le contenu en métaux traces des légumes cultivés en contexte urbain augmentait avec l'intensité du trafic.

En l'absence de réglementation européenne sur les sols – projet retiré par la Commission européenne en 2014 qui devait statuer dessus depuis 2006 – et par conséquent en l'absence de valeurs réglementaires sur les contaminants dans les sols en France, la plupart des aménagements sont fréquemment précédés d'une évaluation des risques. Cette étape est par conséquent cruciale. Les calculs de risque, basés sur des modèles mathématiques, n'ont de sens que si les données sources traduisent la réalité de la situation étudiée. Deux points paraissent entre autres devoir être pris en compte : 1/ l'hétérogénéité spatiale des teneurs en contaminants des sols et 2/ la prise en compte des teneurs bioaccessibles\* en contaminants plutôt que les teneurs totales, un nombre croissant de travaux allant dans ce sens ces dernières années (3).

La note prend appui sur deux articles. L'étude de Guagliardi et al. (2015) porte sur une cartographie de la contamination en métaux d'une zone urbaine et péri-urbaine qui utilise une méthode rapide de quantification du plomb (Pb) par spectrométrie de fluorescence X\*, suivie d'une analyse géostatistique des données. Celle d'Izquierdo et coll (2015) vise quant à elle à réaliser une étude quantitative des risques pour les usagers de jardins urbains, selon plusieurs scénarii, en comparant le contenu pseudo-total en métaux du sol – extractible à l'eau régale – à celui bioaccessible par voie orale.

## Estimation de la pollution en plomb de sols de surface dans une région du sud de l'Italie : analyse de l'environnement urbain et péri-urbain

Guagliardi I, Cicchella D, De Rosa R, Buttafuoco G. Assessment of lead pollution in topsoils of a southern Italy area: Analysis of urban and peri-urban environment. *J Environ Sci* 2015;**33**:179-187.

### Résumé

La distribution spatiale des teneurs en plomb (Pb) de sols urbains et péri-urbains de la région de Cosenza-Rende en Calabre (Italie) a été cartographiée. L'objectif était de délimiter des zones en fonction de la probabilité des sols à contenir des teneurs en Pb supérieures au seuil critique de

100 mg/kg, défini par décret (No. 152/2006, Ministère de l'environnement italien, 2006).

Sur une surface de 92 km<sup>2</sup>, des échantillons de sols de surface (0-10 cm) ont été collectés dans 149 lieux différents (jardins, parcs, parterres, champs). Le Pb de la terre fine (< 2 mm) a été analysé par spectrométrie de fluorescence à X.

Des cartes géochimiques ont été générées par simulation séquentielle d'un modèle stochastique Gaussien\*. Le nombre de 500 simulations générées à partir de ces données sur la base de carrés de 25 m x 25 m ont permis de tenir compte de l'incertitude des mesures. Lorsque les concentrations critiques en Pb étaient atteintes lors de la plupart des simulations, il a été considéré que la probabilité de leur occurrence était élevée. A partir de ces données, trois cartes ont été générées : carte des teneurs moyennes en Pb, carte donnant le niveau de variabilité des données

(écarts-types), carte de probabilité de dépasser la teneur seuil de 100 mg Pb/kg de sol sec.

Les résultats ont montré des concentrations en Pb dans les échantillons variant entre 8 et 708 mg/kg de sol sec pour une moyenne de 63,7 mg/kg. Les teneurs les plus élevées se situaient dans les zones urbaines et proches des routes principales. L'origine anthropique du Pb a été mise en évidence. D'une part, la teneur en cet élément du fond géochimique des roches non altérées de la zone d'étude était d'environ 4,4 mg/kg. D'autre part les valeurs des concentrations en Pb dans les sols échantillonnés est trois fois supérieures au fond géochimique local. La carte de probabilité de dépassement de la concentration seuil en Pb de 100 mg/kg a permis de mettre en évidence les « points chauds » de pollution.

### Commentaire

Au-delà des méthodes utilisées pour réaliser les cartes géochimiques, leurs précisions dépendent grandement des données sources utilisées, à savoir, la pertinence du maillage des prélèvements réalisés, l'échantillonnage et la qualité de l'analyse.

Dans le cas présent, 149 échantillons composites ont été prélevés à partir de carrés de 20 m de côté, ce qui correspond à une surface totale échantillonnée de 0,06 km<sup>2</sup>, pour une surface totale investiguée de 92 km<sup>2</sup>, soit environ 0,06 %. Ce pourcentage paraît faible, notamment pour les zones les plus urbanisées où les teneurs en Pb sont susceptibles de varier fortement sur de micro échelles spatiales. Ce maillage « lâche » ne convient à l'évidence que pour une première approche des zones à risques. On notera qu'un maillage plus serré de l'échantillonnage a été réalisé dans les zones où les teneurs en Pb étaient censées être les plus élevées, permettant ainsi d'obtenir une cartographie plus précise de la distribution du Pb du sol.

En zone urbaine, à l'échelle d'un site, d'un quartier, etc. il convient d'utiliser un maillage beaucoup plus serré afin d'identifier les « points chauds » parfois très localisés et de faire précéder l'échantillonnage d'études historiques permettant de guider les zones de prélèvements et de choisir un maillage adapté.

L'avantage de cette méthode cartographique, basée sur un échantillonnage « lâche » réside dans la production rapide de données à grande échelle. La spectrométrie de fluorescence X peut également permettre d'obtenir rapidement de nombreuses données grâce à des appareils portatifs – ce qui n'est pas le cas dans la présente étude – qui donnent en temps réel et *in situ* les concentrations en un certain nombre d'éléments, dont le Pb, moyennant quelques précautions d'usage et d'interprétation : valeurs dépendantes de la teneur en eau du sol, possibles biais de mesure liés à la minéralogie de l'échantillon. Ces appareils portatifs permettent en temps réel, par itération, d'adapter le maillage de l'échantillonnage en fonction des teneurs mesurées (à densifier dans les zones très hétérogènes telles que les zones urbaines et, à l'inverse, à alléger dans les zones très homogènes telles que les zones agricoles). Cela permet *in fine* de réaliser des cartes gagnant en précision sans avoir à collecter et analyser un nombre trop important d'échantillons. Il ne s'agit pas de la méthode de référence –

minéralisation de l'échantillon puis dosage par absorption atomique – mais il est néanmoins possible de valider les valeurs obtenues. Pour cela, les échantillons ont été quantifiés en se référant à une gamme étalon de standards à base de poudre de roches de concentrations connues en Pb

La méthode de cartographie employée – simulation ou représentation stochastique, méthode qui génère des champs où le niveau de variabilité spatiale de l'attribut modélisé est identique à celui observé dans la réalité – est adaptée à la spécificité des sols pollués pour lesquels les teneurs en Pb peuvent présenter des valeurs extrêmes.

### Bioaccessibilité de métaux de jardins partagés urbains et évaluation du risque en santé humaine

Izquierdo M, De Miguel E, Ortega MF, Mingot J. Bioaccessibility of metals and human health risk assessment in community urban gardens. *Chemosphere* 2015; **135**:312-318.

### Résumé

Les concentrations pseudo-totales (extraction à l'eau régale) et gastro-intestinales (extraction par une solution gastrique à base de glycine + HCl) en Calcium (Ca), Cobalt (Co), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Fer (Fe), Manganèse (Mn), Nickel (Ni), Plomb (Pb) et Zinc (Zn) ont été déterminées à partir de 48 échantillons provenant de 6 jardins urbains intra-muros de Madrid (Espagne). Une évaluation des risques à partir des concentrations pseudo-totales et bioaccessibles oralement a été réalisée sur la base de trois scénarii : 1/ scénario « agricole » où le récepteur est un adulte très présent au jardin et exposé directement par ingestion accidentelle de sol, par inhalation de particules en suspension, par contact avec la peau et par consommation des légumes auto-produits, 2/ scénario « récréatif » où le récepteur majoritaire sont les enfants jouant dans les jardins et exposés selon les mêmes voies qu'au scénario 1 exceptée l'autoconsommation des légumes et 3/ scénario « récréatif + consommation de légumes », scénario le plus défavorable. Deux groupes de jardins ont été distingués sur la base du degré de contamination qui s'explique par l'usage historique de ces jardins. Globalement, le risque a été jugé acceptable dans tous les cas de figure, mais avec de grandes différences selon les jardins, l'usage (utilisés ou non), les pratiques (types d'amendements) et le trafic à proximité des jardins. Uniquement dans le cas du scénario le plus défavorable où les enfants utilisent les jardins comme espaces récréatifs et consomment les productions issues du jardinage, le risque a excédé les limites jugées acceptables. Parmi les métaux étudiés, le Pb a été le plus gros contributeur du risque systémique\*, à hauteur de 77 à 85%. Le Cr et le Pb sont les seuls métaux ayant montré des effets cancérigènes (par ingestion). L'ingestion de légumes a représenté 95% du risque total dans les scénarii « agricole » et « récréatif + consommation de légumes » et l'ingestion accidentelle de sol a présenté la plus grosse contribution dans le scénario « récréatif ». Selon que les modèles de risque ont été alimentés par les teneurs pseudo-totales en métaux (extraction à l'eau régale) ou bioaccessibles oralement (<10% pour Cr jusqu'à 90% pour Pb), les conclusions ont différé significativement (d'environ un ordre de grandeur). Dans le

premier cas, il a été conclu à un risque cancérigène inacceptable quel que soit le scénario considéré.

Le carbonate de calcium s'est révélé être la propriété du sol qui détermine le plus la bioaccessibilité de la majorité des éléments analysés. En revanche, en raison de leur faible présence ou de leur faible variabilité, la matière organique, le pH et la texture du sol ont eu peu d'influence sur la bioaccessibilité de ces éléments.

### Commentaire

Cette étude présente l'intérêt de porter un regard critique sur les résultats d'évaluation des risques qu'elle a produits. On regrettera cependant que l'article ne présente aucun tableau ni graphique avec les données de sol (texture, CEC, pH, % matière organique, etc.) et des résultats d'extraction chimique simulant la bioaccessibilité. Le lecteur ne peut donc pas apprécier par lui-même l'incidence de tel ou tel paramètres et les variations enregistrées pour chaque type de sol.

Les auteurs mettent notamment en lumière plusieurs incertitudes qui peuvent, à juste titre, modifier significativement les données de risque : 1/ les valeurs d'exposition dans le cas de la consommation de légumes peuvent surévaluer le risque car les données utilisées sont génériques et non spécifiques de chaque type de légumes. La prise en compte de la bioaccessibilité des métaux du sol et de leur bioaccessibilité orale, des coefficients de transfert sol/légume spécifiques des couples métaux-légumes étudiés – informations disponibles dans la base de données française BAPPET (Base de données sur les teneurs en éléments traces métalliques de plantes potagères), ainsi que la fréquence d'exposition et les taux d'ingestion permettrait de produire des valeurs de risques plus réalistes et probablement moins élevées, 2/ selon que le Pb est considéré comme un élément toxique systémique ou comme un cancérigène, le risque estimé est d'un ordre de grandeur plus faible dans le second cas et devient alors acceptable – on notera que l'INERIS conseille d'utiliser une VTR à effet de seuil en raison du statut cancérigène du plomb, 3/ l'additivité des polluants dans le calcul de risque n'est pas pertinent car des effets synergiques ou antagonistes ont été relevés. Il est suggéré, comme c'est le cas pour la démarche d'interprétation de l'état des milieux (IEM) du ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, de calculer le risque substance par substance.

En revanche, il est surprenant que le risque soit supérieur pour les adultes à celui pour les enfants. L'explication mise en avant est que les enfants ne consomment pas les légumes produits. Pourtant, il est généralement admis que la voie d'exposition qui génère le plus de risque est l'ingestion de particules de sol.

Ce travail montre également que l'analyse de risque doit être réalisée jardin par jardin en raison de biodisponibilités contrastées en métaux, conséquence de l'histoire des jardins. Enfin, les fréquences d'exposition et les taux d'ingestion doivent être définis localement car spécifiques des populations étudiées.

On se posera aussi la question de la fiabilité de l'échantillonnage et de la représentativité du test utilisé pour mesurer la bioaccessibilité *in vitro*. Seuls 6 prélèvements ont

servi à réaliser deux échantillons composites mais on ne connaît pas la surface échantillonnée sachant que la variabilité intra-jardin peut être très importante.

Enfin, on remarquera que la concentration maximum admise en Pb est ici de 75 mg/kg sol alors que pour l'étude précédente, elle est de 100 mg/kg. Se pose ainsi la question de la justification des seuils par les instances de régulation.

### CONCLUSION GÉNÉRALE

En l'absence de valeurs réglementaires européennes sur les contaminants des sols – bien que certains pays européens disposent des leurs (Italie, Espagne) – une évaluation quantitative des risques doit être le plus souvent entreprise et pose parfois la question de sa pertinence. En effet, on voit que l'évaluation des risques est très complexe et varie selon les choix des modèles, des variables dans ces modèles et des données sources utilisées. Cette note souligne l'importance des démarches de diagnostic et d'évaluation des expositions en insistant sur : 1) la nécessité de se baser sur des teneurs en métaux bioaccessibles, 2) la qualité de l'échantillonnage, surtout en contexte urbain, de façon à fournir des données pertinentes et fiables utilisable pour calculer un risque, le plus précisément possible et 3) l'utilité des méthodes géostatistiques afin d'établir des cartes de risque géochimique à différentes échelles.

### GENERAL CONCLUSION

*In the absence of European regulatory values for soil contaminants – although some European countries have their own regulations (Italy, Spain) – a quantitative risk assessment must be most often undertaken which raises the question of its relevancy. Risk assessment is indeed very complex and varies according to the modeling choices, the variables used in these modeling and the data sources. This note highlights the importance of both the diagnostic procedures and exposure assessment with emphasis on 1) the necessity to account for the bioaccessible metal values 2) the quality of the sampling, almost in urban context, in the aim to calculate a risk as accurately as possible and 3) the usefulness of geostatistical methods to establish maps of geochemical risks at various scales.*

## Lexique

**Bioaccessible** : Contaminant du sol qui peut potentiellement devenir disponible à plus ou moins long terme, c'est-à-dire assimilable par un organisme vivant (bactérie, plante, etc.)

**Modèle stochastique Gaussien** : Modèle aléatoire utilisé en cartographie permettant de générer un grand nombre de simulations (réalisations) qui respectent les hétérogénéités observées à partir des données disponibles et supposées dans le milieu réel

**Risque systémique** : Risque qui peut mettre en danger la survie d'un système

**Spectrométrie de fluorescence X (FX ou XRF)** : Technique qui permet l'analyse élémentaire, renseigne sur la quantité de tel ou tel atome, sans renseigner la forme chimique

*France, 2/ plantations le long des routes pour réduire le dépôt de particules contaminées, 3/ limitation de l'utilisation des bois traités au chrome/cuivre/arséniate, 4/ enrichissement des jardins en matière organique même si pour l'As, 20% minimum serait nécessaire pour réduire la fraction biodisponible alors que l'optimum de croissance des plantes nécessite seulement 5-10%.*

*Malgré l'intérêt global de cet article, il n'a pas été sélectionné puisque la méthode bien connue de spéciation utilisée (BCR) ne présentait pas d'originalité.*

## Publications de référence

(1) **UN (United Nations)**. Road map towards the implementation of the United Nations Millennium declaration, report of the secretary-general, A/56/326, New York, 2001

(2) **Sämel I, Kotsyuk I, Hölscher M, Lenkerit C, Weber F, Kowarik I**. How healthy is urban horticulture in high traffic areas? Trace metal concentrations in vegetable crops for planting within inner city neighbourhoods in Berlin, Germany. *Environ Pollut* 2012; 165:124-132.

(3) **Ge Y, Murray P, Sauvé S, Hendershot W**. Low metal bioavailability in a contaminated urban site. *Environ Toxicol Chem* 2002; 21:677-687.

## Autres publications identifiées

**Weller Clarke L, Darrel Jenerette G., Bain DJ**. Urban legacies and soil management affect the concentration and speciation of trace metals in Los Angeles community garden soils. *Environ Poll* 2015; **197**:1-12.

*L'étude porte sur la caractérisation environnementale et les processus de gestion expliquant la présence et la spéciation chimique de l'As, Cd, Pb dans 12 jardins communautaires de Los Angeles. Les concentrations ont été comparées à l'âge des quartiers, à la distance des routes et au contenu en matière organique des sols. L'originalité de l'étude porte sur l'analyse de l'interaction entre les processus abiotiques et socio-écologiques dans le but de réduire le risque d'exposition aux métaux. Sans surprise, la proximité des routes augmente la teneur de tous les métaux dans les sols. La fraction réductible du Pb (selon la méthode BCR) augmente avec l'âge des quartiers, laissant suggérer que la présence au Pb est le fait de particules d'anciennes peintures. Les concentrations en As et Cd échangeables augmentent avec la proximité des routes. Dans le cas de l'As des sols cultivés, cette augmentation pourrait s'expliquer par la baisse du taux de matière organique tandis que la biodisponibilité du Cd est réduite avec la matière organique. A la lumière de ces résultats, l'étude suggère des solutions de gestion : 1/ apport de terre autour des anciens bâtiments et dans les zones antérieurement agricoles pour diluer Cd et Pb – on notera que la pratique de dilution est interdite en*