



**HAL**  
open science

## Bioaccessibilité orale des éléments traces métalliques dans les sols pollués

Julien Caboche, Sébastien Denys, Karine Tack

► **To cite this version:**

Julien Caboche, Sébastien Denys, Karine Tack. Bioaccessibilité orale des éléments traces métalliques dans les sols pollués. Rapport Scientifique INERIS, 2011, 2010-2011, pp.69-71. ineris-01869394

**HAL Id: ineris-01869394**

**<https://ineris.hal.science/ineris-01869394>**

Submitted on 6 Sep 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## Contributeurs



Julien  
Caboche



Sébastien  
Denys



Karine  
Tack

# Bioaccessibilité orale des éléments traces métalliques

dans les sols pollués

## Références

[1] Oomen A.G., Hack A., Minekus M., Zeijdner E., Cornelis C., Scoeters G., Verstraete W., Van de Wiele T., Wragg J., Rempelberg C.J.M., Sips A., Van Wijnen J.H., "Comparison of five in vitro digestion models to study the bioaccessibility of soil contaminants", Environmental Sciences and Technology, 2002, 36, pp. 3326-3334.

[2] Caboche J., « Validation d'un test de mesure de bioaccessibilité. Application à 4 éléments traces métalliques dans les sols: As, Cd, Pb et Sb », thèse de doctorat de l'Institut national polytechnique de Lorraine, 2009, 248 p.

[3] Denys S., Caboche J., Tack K., Wragg J., Cave M., Jondreville C., Feidt C., "In vivo validation of the Unified Barge Method to assess the bioaccessibility of metals in soils. Communication orale", Conference ICOBTE, Florence, Italie.

Les activités industrielles ont généré une accumulation des éléments traces métalliques (ETM) dans les sols qui, pour certains d'entre eux, sont toxiques pour l'homme. La gestion des sites et sols pollués repose sur l'évaluation des expositions à ces éléments. Le retour d'expérience montre que les voies d'exposition directe, notamment l'ingestion de terre pour les enfants, engendrent les niveaux de risque les plus élevés. Toutefois, la pratique courante du calcul d'exposition et du risque utilise la concentration totale d'un polluant dans un sol, alors qu'il a été démontré que seule la fraction biodisponible de ce contaminant est susceptible d'induire un effet toxique. La biodisponibilité orale est la fraction de contaminant ingéré absorbée à travers l'épithélium intestinal et qui atteint la circulation systémique. La pratique actuelle tend donc à surestimer la dose à laquelle les cibles sont exposées. Divers protocoles *in vitro* permettant d'approcher de façon simplifiée la biodisponibilité ont été développés ces dernières années. Ces derniers proposent une estimation de la bioaccessibilité orale, fraction de contaminant ingéré qui est solubilisée à l'intérieur de la lumière intestinale. Au vu des nombreux protocoles publiés (e.g. [1]), le groupe Barge (*Bioaccessibility Research Group Europe*), fédération d'instituts et de laboratoires impliqués en évaluation de risque, a proposé un protocole unique. Toutefois, en vue d'une application large et en routine de ce protocole, il est nécessaire de le valider.

## Objectif de l'étude

Afin d'évaluer la pertinence du test de bioaccessibilité *in vitro* UBM (*Unified Barge Method*), et d'en valider les résultats, nos travaux ont consisté à le confronter à des mesures de biodisponibilité *in vivo* [2].

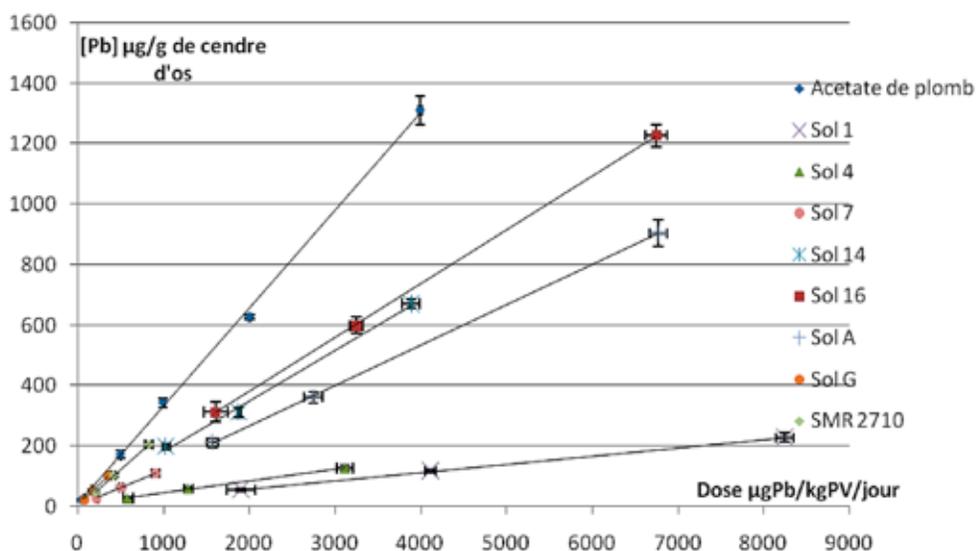
## Matériels et méthodes

Des sols ont été échantillonnés. Ils présentent des historiques de contamination différents et des caractéristiques physicochimiques les plus contrastées possibles afin d'avoir une large variation des valeurs de biodisponibilité pour chacun des ETM. Seize sols en provenance de trois sites ont été échantillonnés à la superficie du sol. Sur deux sites, des apports anthropiques, liés à des activités d'extraction et de traitement de minerais, se superposaient à une anomalie géochimique. Les sols du troisième site ont été contaminés par des dépôts de particules en provenance d'une fonderie.

La biodisponibilité des ETM dans les sols a été évaluée sur des porcelets dont les caractéristiques du système digestif sont proches de celui de l'homme (réalisé au sein du laboratoire de l'ENSAIA/Nancy). Pour chaque sol, trois doses (0,5; 1 et 2 g) ont été administrées par voie orale aux porcelets, à jeun, quotidiennement et pendant 14 jours. En parallèle, et selon le même protocole, les porcelets ont été exposés à des formes de référence (totalement soluble) de chaque élément trace métallique (ETM). Finalement, les concentrations en ETM →

Figure 1

Exemple de courbes dose-réponse pour différents sols et pour l'acétate de plomb dans l'os (moyenne  $\pm$  écart type, n = 3).



→ ont été mesurées par ICP-MS dans les urines, les reins, le foie et l'os. La biodisponibilité relative<sup>1</sup> de chaque ETM, pour chaque sol, est calculée comme étant le ratio des pentes des courbes dose-réponse obtenues (figure 1), pour un sol donné et pour la forme de référence au sein du même compartiment.

Le test UBM repose sur des extractions successives à l'aide de solutions digestives synthétiques simulant les processus physiques et chimiques de la bouche, l'estomac et l'intestin grêle. Le test BARGE unifié permet ainsi d'estimer une bioaccessibilité gastrique et gastro-intestinale. Dans la mesure où la bioaccessibilité est une étape limitante dans le processus de biodisponibilité, une corrélation linéaire doit être obtenue entre les deux paramètres [3].

#### Note

1. La biodisponibilité relative permet de quantifier la différence de biodisponibilité d'un ETM entre une matrice « sols » et une matrice de référence (ici un sel soluble, utilisé pour développer une VTR en toxicologie). La définition s'applique aussi à la bioaccessibilité relative.

## Résultats et discussions

Les résultats montrent que la biodisponibilité relative est très variable en fonction des sols pour le plomb (8 % à 82 %), le cadmium (12 % à 91 %) et l'arsenic (3 % à 78 %). Pour l'antimoine, les valeurs de biodisponibilité relative et de bioaccessibilité relative sont très faibles indépendamment des caractéristiques variées des sols utilisés (valeurs < 20 %) et ainsi ne permettent pas d'obtenir une corrélation linéaire robuste sur une large gamme de valeurs. Pour les trois autres contaminants, les comparaisons entre les données *in vivo* et *in vitro*, ont démontré que la biodisponibilité relative et la bioaccessibilité relative dans les deux phases du test étaient linéairement corrélées pour des gammes de valeurs très étendues. De plus, les résultats montrent que les corrélations obtenues sont hautement significatives ( $r^2 > 0,9$ ) et pour chaque corrélation une pente non significativement différente de 1 est obtenue, ce qui valide le postulat initial de l'effet limitant de la bioaccessibilité dans l'exposition aux ETM du sol (figure 2). Les différences de biodisponibilité entre un contaminant présent dans la matrice sol et un contaminant présent sous une forme soluble peuvent être estimées par les différences de bioaccessibilité de l'élément au sein de ces matrices. Ainsi, l'étude confirme que la bioaccessibilité permet une bonne estimation de la biodisponibilité. Actuellement, le test UBM est le seul test *in vitro* validé par des données *in vivo* pour plusieurs ETM.

## CONCLUSION

L'étude démontre que la biodisponibilité des ETM dans les sols peut être très variable d'un sol à un autre et d'un contaminant à un autre. De plus, les résultats démontrent que la concentration biodisponible peut être nettement inférieure à la concentration totale d'un ETM. Ceci met en évidence la nécessité d'aller au-delà de la simple mesure de la concentration totale d'un élément dans les sols afin d'en appréhender sa toxicité. D'où l'importance d'avoir une méthode validée, rapide et facile pour estimer la biodisponibilité des polluants dans les sols. Ainsi, les résultats de l'étude mettent en lumière que la phase gastrique et intestinale du test *in vitro* BARGE unifié peut fournir une alternative possible aux investigations *in vivo* afin de déterminer la biodisponibilité relative dans l'optique d'affiner la mesure des concentrations d'exposition par ingestion aux ETM présents dans les sols pollués.

## PERSPECTIVES

La validation du test UBM étant acquise pour l'arsenic, le cadmium et le plomb, il est désormais envisageable, pour ces éléments, d'affiner l'estimation des expositions humaines à ces métaux à partir de la bioaccessibilité orale et, non plus à partir de la concentration totale. Ainsi, de manière opérationnelle, la mesure de la bioaccessibilité est un outil novateur qui peut être proposé pour la mise en œuvre de méthodes telles que l'interprétation de l'état des

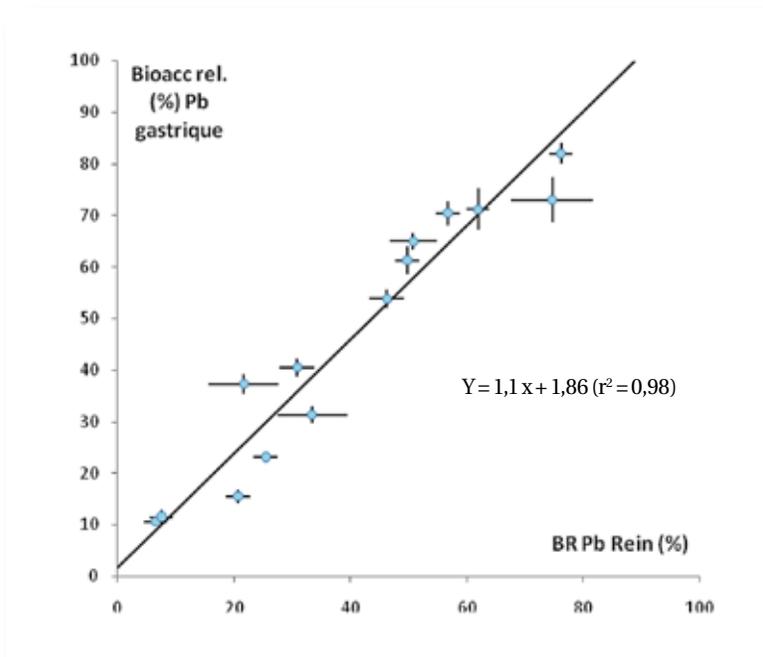


Figure 2

Corrélation entre la bioaccessibilité gastrique relative et la biodisponibilité relative, pour le plomb.

milieu ou l'évaluation quantitative du risque sanitaire.

Sur le plan des perspectives de développement, les résultats issus de recherches concernant l'imprégnation humaine à d'autres types de substances, telles que les retardateurs de flamme bromés ou les polluants organiques persistants pourront également être analysés à la lumière de la connaissance de la bioaccessibilité de ces contaminants, pour les différentes voies déterminantes de l'exposition à ces contaminants.

À ce titre, il conviendra, vraisemblablement, d'étendre les travaux menés jusqu'à présent sur les métaux et la voie orale, aux contaminants organiques de l'environnement et à d'autres voies d'exposition, telles que l'inhalation ou l'ingestion de végétaux. L'INERIS a ainsi proposé en 2011, dans le cadre de l'appel à projet de l'Anses, une étude concernant le développement de tests de mesure de la bioaccessibilité pour la voie inhalation et appliquée aux métaux. Une autre voie de développement est l'intégration de la bioaccessibilité dans les évaluations spatialisées des expositions humaines aux substances chimiques (cf. *article sur les inégalités environnementales*, p. 57).

À terme, les travaux concernant le développement de la notion de bioaccessibilité pour les substances organiques et les autres voies d'exposition pourront également être avantageusement intégrés dans les outils pour l'évaluation spatialisée des expositions et des risques.

## ABSTRACT

Industrial activities lead to contaminate environmental media such as soils. These later accumulate the pollutants such as heavy metal. Management of contaminated sites is based on the estimation of the Human exposure to these elements through either direct or indirect routes. In this context, soil ingestion is often considered, at least in residential areas, as a major exposure route driving the rehabilitation process. For this route, the exposure concentration is based on the total soil concentration of the elements whereas only a fraction of this concentration (the bioavailable fraction) is absorbed by the organism and is likely to exert a toxic effect. Thus estimation of the exposure from the total soil concentration is a conservative approach. These last years, numerous *in vitro* tests were developed to evaluate the bioavailability through the bioaccessibility, the fraction of the soil contaminant digested in the gastro-intestinal tract. The bioaccessibility research group of Europe (Barge) developed a unified protocol (UBM). INERIS conducted studies to assess the accuracy of this test regarding the physiological phenomenon. To achieve this goal, bioavailability of lead, cadmium, arsenic and antimony in different contaminated soils were measured in piglets used as surrogates of humans. Values were correlated to the *in vitro* bioaccessibility values measured by the UBM. Results showed that the bioavailability of antimony was very low and that no significant correlation was obtained for this element. Concerning the 3 other elements, bioavailability and bioaccessibility were highly correlated. These results demonstrate the accuracy of the UBM to improve the exposure assessment of humans to contaminated soils through the ingestion route. It allows the proposal of a new characterization of the human exposure to environmental contaminants. With respect to this validation, the bioaccessibility concept can be integrated to different research project concerning the human exposure to flame retardants or pesticides and the spatialized multimedia human exposure to soil contaminants. In the near future, some works will have to be likely developed to develop the bioaccessibility measurement for organics and for others exposure routes such as inhalation or vegetables consumption.