

// DOSSIER

Baser les évaluations des risques sanitaires et environnementaux sur les concentrations totales en contaminants métalliques dans les sols peut engendrer des surestimations non négligeables. Les mesures de bioaccessibilité et de biodisponibilité permettent d'établir une image représentative des risques.

LA PRISE EN COMPTE DE LA BIOACCESSIBILITÉ ET DE LA BIODISPONIBILITÉ DES CONTAMINANTS MÉTALLIQUES DES SOLS DANS LES ÉVALUATIONS DES RISQUES SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTAUX

La bioaccessibilité et la biodisponibilité¹ des contaminants métalliques dans les sols ont été identifiées, dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués en 2017, comme des outils pertinents pour préciser les évaluations des risques sanitaires (ERS) et environnementaux (ERE). Il existe en effet un consensus selon lequel seule une fraction du contaminant franchit les barrières biologiques et atteint un organe cible. La prise en compte de la concentration totale des contaminants dans les sols pour les calculs d'ERS et d'ERE engendre alors fréquemment des surestimations. Bien que conservateur, ce calcul peut conduire au surdimensionnement des mesures de gestion et donc, à des coûts pouvant, dans certains cas, remettre en cause un projet de réhabilitation. Pour dynamiser la reconversion des sites à passifs environnementaux, il apparaît nécessaire de prendre en compte la bioaccessibilité et la biodisponibilité des contaminants métalliques présents dans les sols pour des ERS et ERE plus représentatives de la réalité.

Pour répondre à ce besoin, TESORA et le laboratoire Chrono-Environnement (Université de Franche-Comté) mènent en collaboration avec le Laboratoire Génie Civil et géo-Environnement (ISA-Lille) un projet de recherche soutenu par l'ADEME pour **CO**upler des indicateurs chimiques et **Bi**ologiques pour une évaluation **I**ntégrative des risques **sa**nitaires et **E**nvironnementaux : le projet **COMBINE**. Un des objectifs de ce projet est la comparaison de risques sanitaires estimés via la méthodologie d'Interprétation de l'état des milieux (IEM) avec et sans prise en compte de la bioaccessibilité des contaminants et

de risques environnementaux (estimés via des tests de bioaccumulation) afin d'identifier la complémentarité de ces deux approches et l'impact que la prise en compte de ces données peut avoir sur la gestion d'un site. La comparaison de ces données permettra à terme de réaliser des ERS et ERE plus représentatives de l'exposition en intégrant les facteurs modulant la mobilité et le devenir des polluants présents dans les sols (Figure 1).

Pour mener à bien cet objectif, 30 échantillons de terres contaminés par l'arsenic (As), le cadmium (Cd)

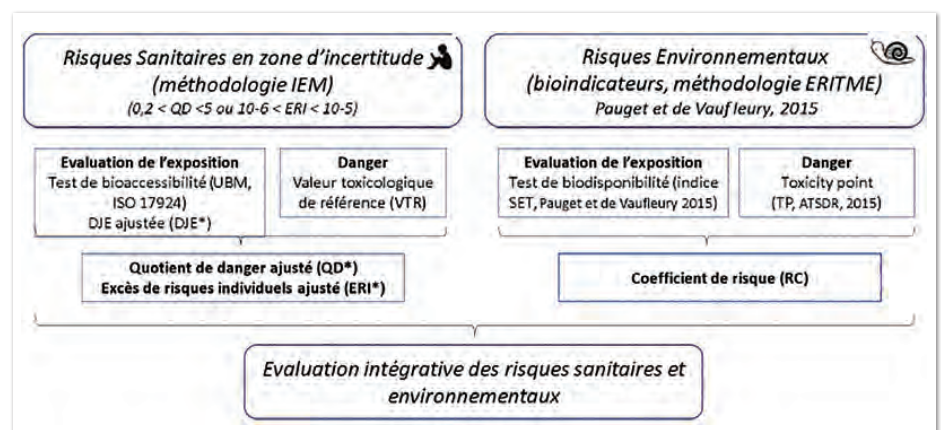


Figure 1 : Intégration de la bioaccessibilité et de la biodisponibilité dans les ERS et ERE.

1- Bioaccessibilité : fraction d'un contaminant présent dans une matrice libérée dans les sucs gastro-intestinaux humains et donc disponible pour absorption.

Biodisponibilité : fraction réellement assimilée d'un contaminant présent dans une matrice.

2 -Optimisation de la gestion des sites et sols pollués par une mesure simple de bioaccessibilité (LGCgE ISA Lille).

et le plomb (Pb) couvrant une large gamme de paramètres physico-chimiques et de degrés de contamination ont été sélectionnés parmi ceux constitués au cours du programme ODESSA², également soutenu par l'ADEME. Sur chaque échantillon, ont été effectués un test de bioaccumulation en laboratoire de 28 jours avec l'escargot (*Cantareus aspersus*, méthodologie ERITME, Louzon et al. 2019) et un test in vitro de bioaccessibilité (UBM - Unified Barge Method, ISO 17924) en vue d'estimer la fraction des contaminants du sol pouvant être, après ingestion, solubilisée dans les sucs gastro-intestinaux de l'Homme. De fortes corrélations ($0.7 < r^2 < 0.9$) ont été mises en évidence entre les concentrations bioaccumulées par les escargots et les concentrations bioaccessibles mesurées via le test UBM. La modélisation (régressions linéaires multiples) de l'influence des paramètres des sols sur la bioaccumulation montre que la prise en compte de la teneur en matière organique du sol permet d'améliorer la corrélation entre bioaccessibilité et bioaccumulation des trois éléments métalliques étudiés.

Pour identifier l'impact de l'intégration de la bioaccessibilité et de

la biodisponibilité lors des évaluations des risques, les quotients de danger (QD) et les excès de risque individuel (ERI) pour chacun des 30 échantillons de terre étudiés pour l'As, le Cd et le Pb ont été calculés³ (en utilisant les valeurs génériques d'exposition fournies dans la grille de calcul IEM). Quand les QD et les ERI étaient en zone d'incertitude, ils ont été corrigés par la bioaccessibilité. Il ressort de cette étude que sur les 30 sols, 20 sont identifiés en zones d'incertitude pour les QD de l'As (pour des concentrations totales comprises entre 13 et 228 mg kg⁻¹). La prise en compte de la bioaccessibilité engendre une forte diminution des valeurs de QD pour l'As puisque 12 sols initialement en zone d'incertitude ont été reclassés en absence de risques. Les sols considérés comme ne présentant pas de risque ($QD^* < 0,2$) grâce à la prise en compte de la bioaccessibilité ne sont pas systématiquement les moins contaminés. Concernant les ERI, le résultat est moins marqué puisque seuls 2 sols (sur les 28) ont été reclassés comme ne présentant pas de risques en intégrant la bioaccessibilité.

Le risque sanitaire global des terres étudiées pour l'As a été estimé sur la base de la synthèse des classes

de risques des QD et des ERI puis a été comparé à l'estimation des risques environnementaux basée sur les indices ERITME (Tableau 1). On remarque que la majorité des sols de l'étude sont catégorisés en zone d'incertitude, principalement due aux ERI. L'utilisation de la bioaccessibilité permet néanmoins de conclure à une absence de risque sanitaire pour l'As de deux sols initialement identifiés en zone d'incertitude, permettant ainsi d'envisager la contamination des sols sous un angle différent et donc les options de gestion à mettre en œuvre.

Pour l'évaluation des risques environnementaux basée sur la méthodologie ERITME (en laboratoire), 47% des terres présentent une absence de risque et 7% présentent un risque avéré pour l'environnement. Sur les 47% des terres en zone d'incertitude, une étude plus approfondie a confirmé que le risque (estimé via la bioaccumulation) n'était pas lié uniquement à la teneur totale en As, certains sols présentant des teneurs en As faibles (11 mg/kg⁻¹) bien en dessous des gammes « normales » dans les sols (données du programme ASPITET). La concordance des ERS et ERE sur les terres présentant un risque avéré est très

	Conclusion ERS		Conclusion ERE
	IEM	IEM*	ERITME
Absence de risque	0%	7%	47%
Zone d'incertitude	93%	87%	47%
Risque	7%	7%	7%

Tableau 1 : caractérisation des risques sanitaires des 30 terres de l'étude pour l'As sans (IEM) et avec (IEM*) prise en compte de la bioaccessibilité et des risques environnementaux (ERITME).

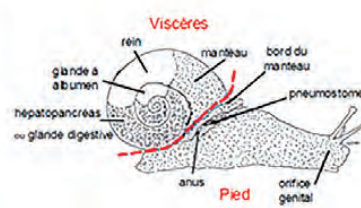
3- Pour raisons éditoriales, seuls les résultats pour l'As seront présentés dans cet article.

intéressante car elle permet de statuer sur le risque environnemental sur la base du risque sanitaire (et inversement). Bien que la bioaccumulation et la bioaccessibilité soient fortement corrélées, le risque environnemental de l'As présent dans les terres de l'étude est globalement plus faible que le risque sanitaire (en lien avec les différences biologiques, l'influence de la matière organique, les différences entre les facteurs de risque...). En effet, bien que la prise en compte de la bioaccessibilité permette de reclasser 7% des terres en absence de risque, 87% des terres sont encore en zone d'incertitude contre seulement 47% des terres pour les risques environnementaux. Il apparaît ainsi que la présence d'As dans les sols présente globalement moins de risques pour l'environnement que pour l'Homme (pour les sols de cette étude).

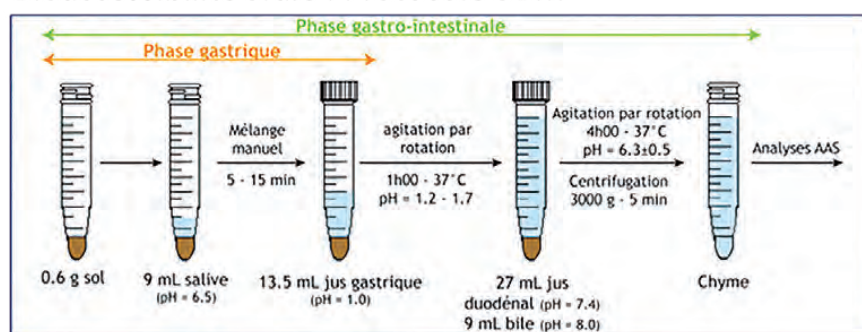
Ainsi cette étude a permis de mettre en évidence que la prise en compte de la bioaccessibilité et de la biodisponibilité des polluants présents dans les sols permet d'avoir une vision plus globale et ouvre de nouvelles perspectives de gestion des pollutions qui sont plus en adéquation avec les caractéristiques propres du site modulant la mobilité et le transfert des polluants. Ainsi un pas de plus est réalisé vers l'application du concept One Health pour le développement d'évaluations intégratives des risques combinant des approches sanitaires et environnementales.

Benjamin PAUGET, TESORA

Biodisponibilité : Protocole SET



Bioaccessibilité orale : Protocole UBM



Projet COMBINE

Financement : ADEME (C. Grand)

Partenaires : TESORA (Coordination, B. Pauget), Laboratoire ChronoEnvironnement (M. Louzon et A. de Vaufleury, F. Gimbert), Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement (A. Pelfrène et F. Douay)

Le projet sera présenté plus en détail lors des 4^{èmes} Rencontres Nationales de la Recherche sur les Sites et Sols Pollués organisées par l'ADEME les 26 et 27 novembre 2019.

Références :

- Pauget, B., de Vaufleury, A. (2015). The SET and ERITME indices: Integrative tools for the management of polluted sites. *Ecological Indicators*, 53, 206-210.
- ISO DIS 17924, [2018]. Qualité du sol – Evaluation de l'exposition humaine par ingestion de sol et de matériaux du sol – Mode opératoire pour l'estimation de la bioaccessibilité/biodisponibilité pour l'Homme de métaux dans le sol. Genève : International Standardisation Organisation.
- Louzon M., Pelfrène A., Pauget B., Gimbert F., Crini N., Rieffel D., Amiot C., Douay F., A. de Vaufleury A., 2019. Assessment of metal(loid) bioavailability for landsnails and human bioaccessibility: a new pathway to build bridges between ecotoxicological and human health risk assessment of contaminated soils. SETAC WE164, Oral communication
- ATSDR, 2015. Detailed Data Table for the 2015 Priority List of Hazardous Substances that will be the subject of toxicological profile.