



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**Journée technique d'information et
de retour d'expérience
de la gestion des sites et sols pollués**

Mardi 5 décembre 2023

**Organisée par l'Ineris et le BRGM, en concertation avec le
Ministère Transition écologique
et de la Cohésion des territoires**



*maîtriser le risque |
pour un développement durable*



Bioaccessibilité orale des métaux et métalloïdes dans les sols Projets de recherche

Aurélie PELFRENE

JUNIA

JUNIA Grande
école
d'ingénieurs

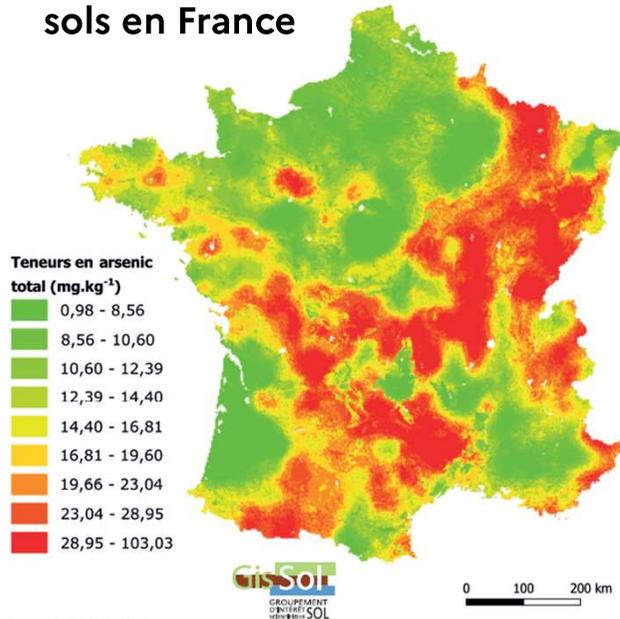


Laboratoire
de Génie Civil
et géo-Environnement

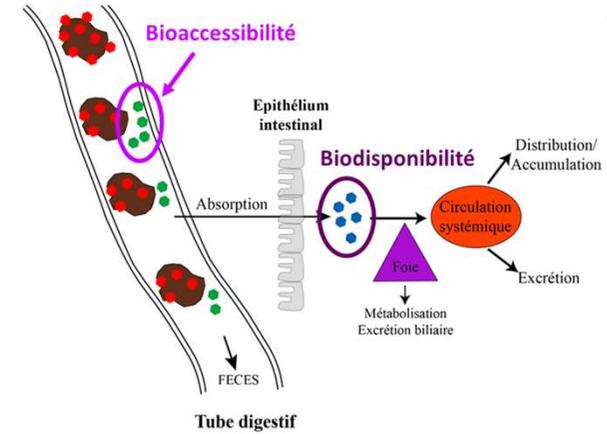
1. BAsR – Bioaccessibilité orale de l'arsenic sur les sols du RMQS

Contexte

Carte des teneurs prédites en As total des horizons de surface des sols en France

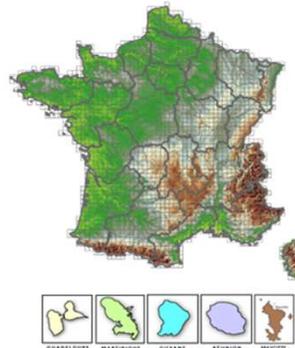


Si [As]tot > 25 mg/kg
→ source potentielle de surexposition des populations



1. Projet BASR

Recommandation de la HAS (2020)
→ Intérêt spécifique pour la concentration dans le sol en arsenic bioaccessible
→ Dépistage si [As]_{bioac} > 25 mg/kg



Le programme RMQS :

- 2240 sites
 - répartis selon une grille de 16 km x 16 km
 - en métropole et départements d'outre-mer
 - représentatifs des sols français et de leurs occupations
- Essentiellement des **sols agricoles** et **sous forêts**

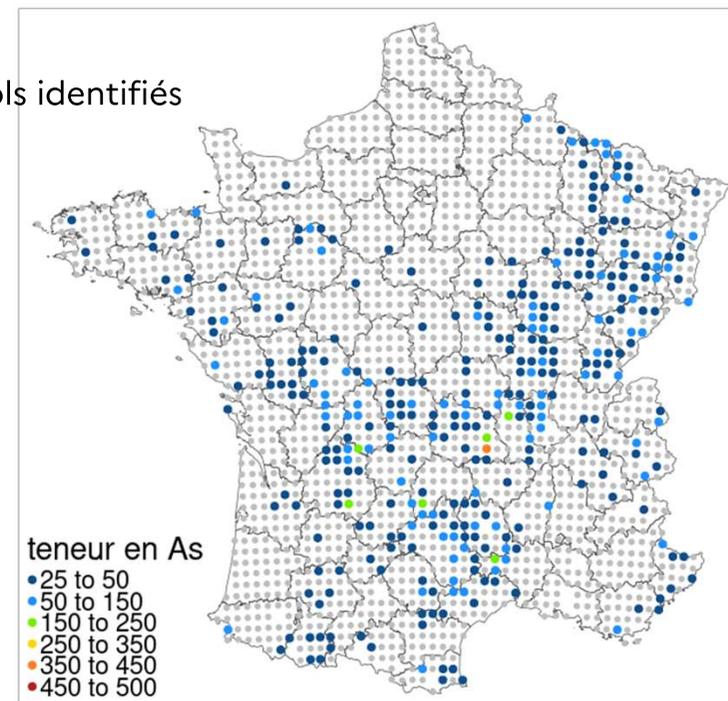
Objectifs du projet BAsR

Réaliser une étude statistique de la distribution des valeurs en As bioaccessible sur les zones présentant les plus fortes concentrations

- Considérer les sols du RMQS avec une concentration en As tot > 25 mg/kg → 353 sols identifiés
- Déterminer les teneurs en As bioaccessible

Acquérir de nouvelles données sur la France entière pour alimenter les bases de données du GisSol

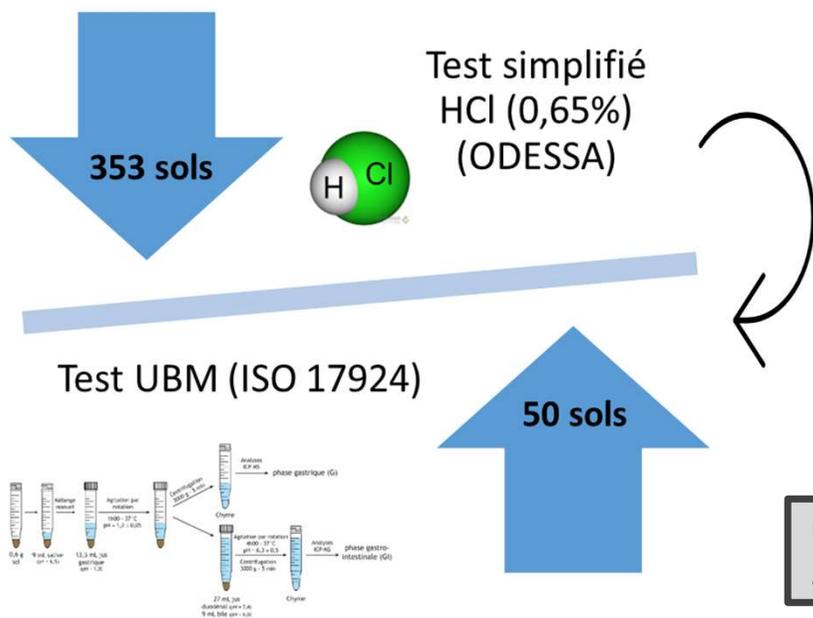
Mieux évaluer l'exposition des populations et *in fine* le risque



Méthodologie

→ Utilisation du test simplifié pour prédire la bioaccessibilité de As

Evaluation des teneurs en As bioaccessible



Élément	Phase	Equation
As	G	$\log_{10}[\text{As}]_{\text{BA}} = 0,83 \times \log_{10}[\text{As}]_{\text{HCl}} + 0,16$
	GI	$\log_{10}[\text{As}]_{\text{BA}} = 0,80 \times \log_{10}[\text{As}]_{\text{HCl}} + 0,13$

Domaine d'application du test simplifié

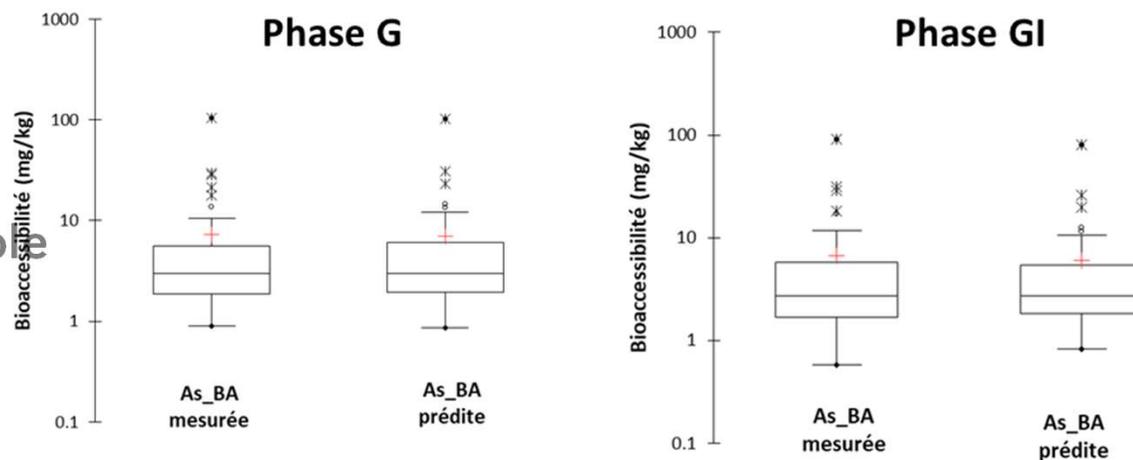
As : de 1,9 à 2 600 mg/kg
Cd : de 0,2 à 480 mg/kg
Pb : de 4 à 50 000 mg/kg

Pelfrène et al. (2020)

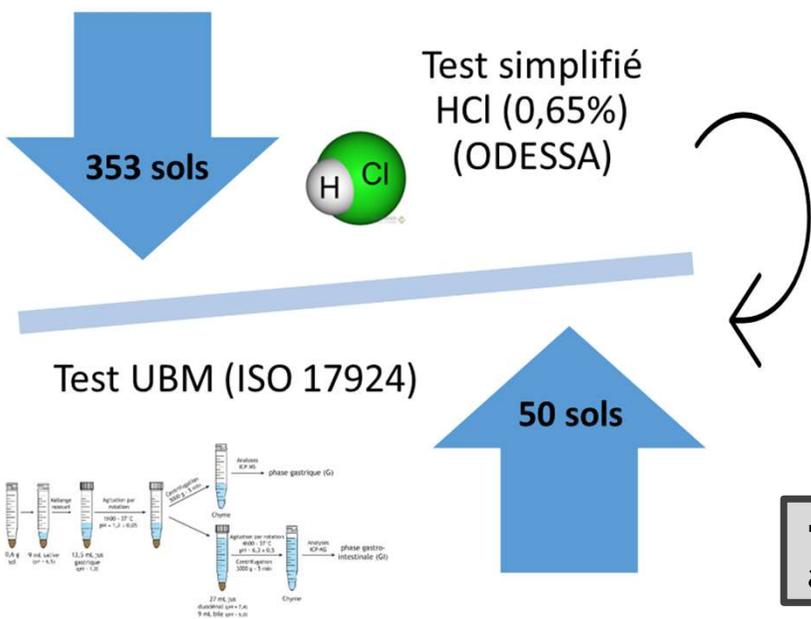
→ Validation sur une sous-population avec UBM

Méthodologie

Evaluation des teneurs en As bioaccessible



✓ Pas de différences significatives
✓ Dans la majorité des cas, les différences observées sont < 2 mg/kg

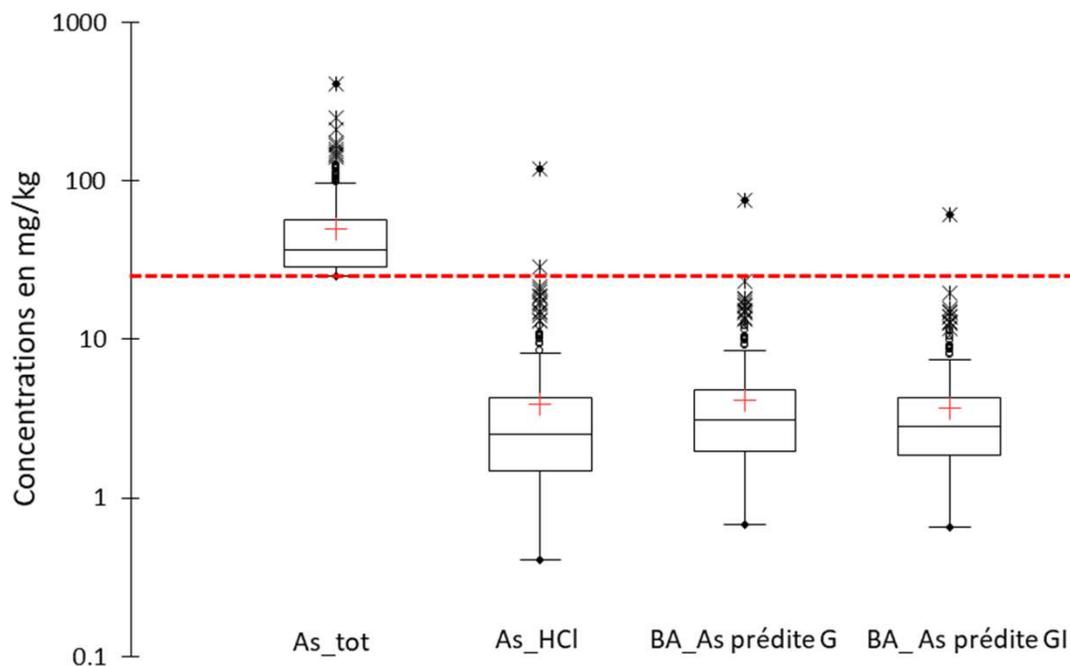


→ Validation sur une sous-population avec UBM

Résultats

- Concentrations totales : de 25 à 412 mg/kg
- Concentrations extractibles HCl : de 0,4 à 118 mg/kg
- Concentrations bioaccessibles prédites :
 - ✓ G : de 0,7 à 76 mg/kg
 - ✓ GI : de 0,7 à 61 mg/kg

Evaluation de la distribution statistique d'As dans les zones à risque



% As bioaccessible

Phase G prédite : de 1,6 à 45% (médiane : 7,1%)
Phase GI prédite : de 1,5 à 39% (médiane : 6,5%)

- ✓ Valeurs moyennes basses
- ✓ Répartition des teneurs concentrée en dessous de 5 mg/kg
- ✓ Risque faible de dépasser le seuil de 25 mg/kg (0,05%)

Résultats

Des dépassements du seuil à 25 mg/kg :

- + fréquents en milieux plus urbanisés
- Nécessite des conditions très particulières dans le cadre du RMQS



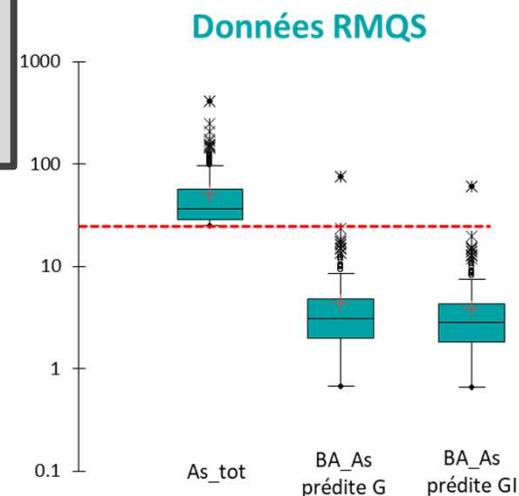
Le programme RMQS :

- 2240 sites
 - répartis selon une grille de 16 km x 16 km
 - en métropole et départements d'outre-mer
 - représentatifs des sols français et de leurs occupations
- ➔ Essentiellement des **sols agricoles** et **sous forêts**

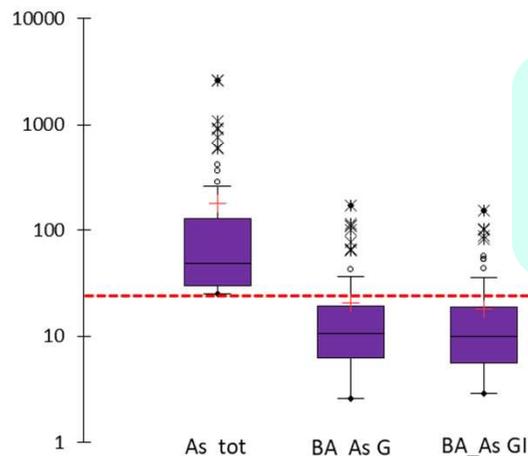


Projet ODESSA :

- 25 sites en métropole
- 228 échantillons de sols
- Majoritairement **sites industriels**
- Jardins urbains, parcelles agricoles, anciennes stations-services, sols dopés...
- As tot de 2 à 2600 mg/kg
- 174 sites avec As tot > 25 mg/kg



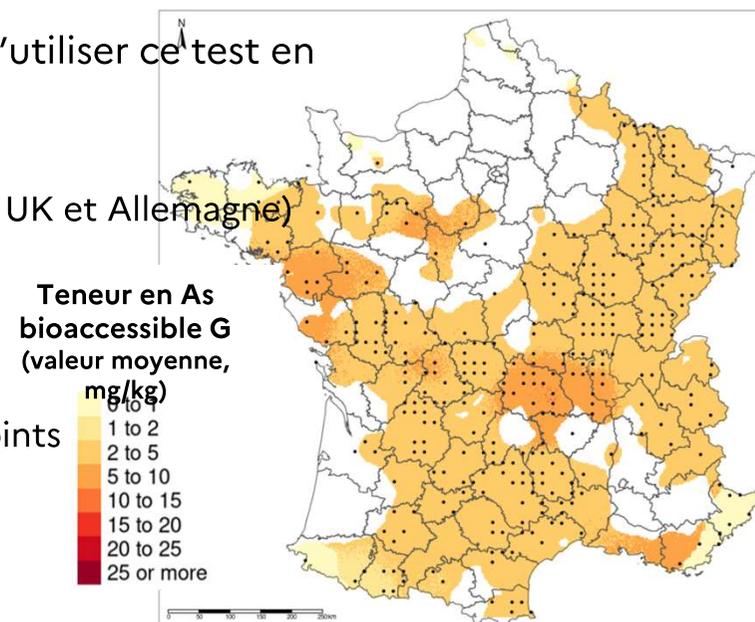
Données ODESSA



- ✓ 75% des teneurs en As bioaccessible < 7 mg/kg
- ✓ Une pollution en As principalement liée aux activités humaines

Bilan

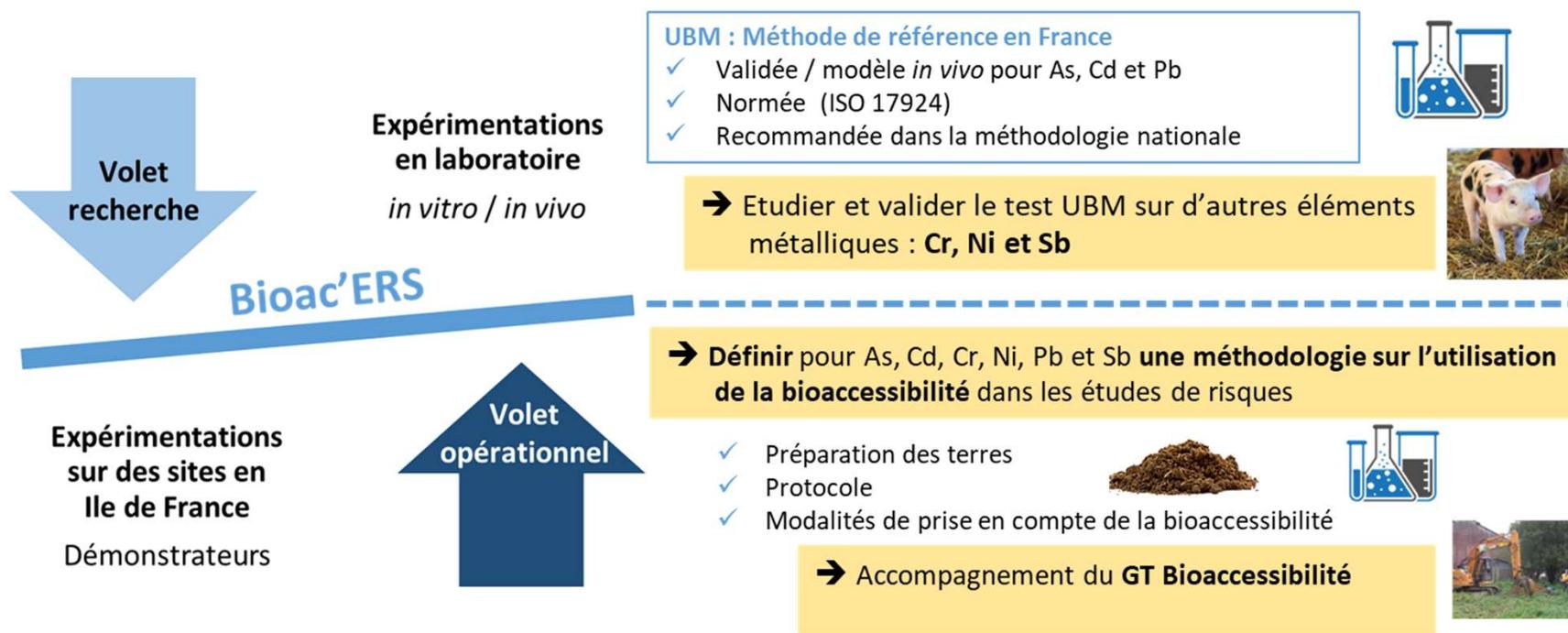
- Intérêt de prendre en compte l'As bioaccessible pour mieux évaluer l'exposition des populations et *in fine* le risque
- Bonne prédiction de l'As bioaccessible au moyen du test HCl → intérêt d'utiliser ce test en 1^{er} screening sur un jeu important d'échantillons
 - Test en cours de normalisation ISO CD7303
 - Essais inter-laboratoires en cours (11 participants en France, Suède, Belgique, UK et Allemagne)
- Proposition d'une cartographie des teneurs prédites en As bioaccessible
 - Une prédiction spatiale < au seuil de 25 mg/kg
 - Une modélisation basée sur les sols du RMQS qui ne tient pas compte des points
 - ✓ Une prédiction spatiale des bruits de fonds en valeurs bioaccessibles
 - ✓ Des valeurs de référence pouvant être utilisées comme Environnement local témoin



2. Bioac'ERS – Bioaccessibilité orale : un outil de caractérisation des expositions de l'Homme pour améliorer les évaluations de risques sanitaires

Contexte et objectifs de Bioac'ERS

Promouvoir l'utilisation de la bioaccessibilité par les gestionnaires de sites et les bureaux d'études



Meilleure prise en compte de l'exposition orale vis-à-vis des éléments métalliques présents dans les sols

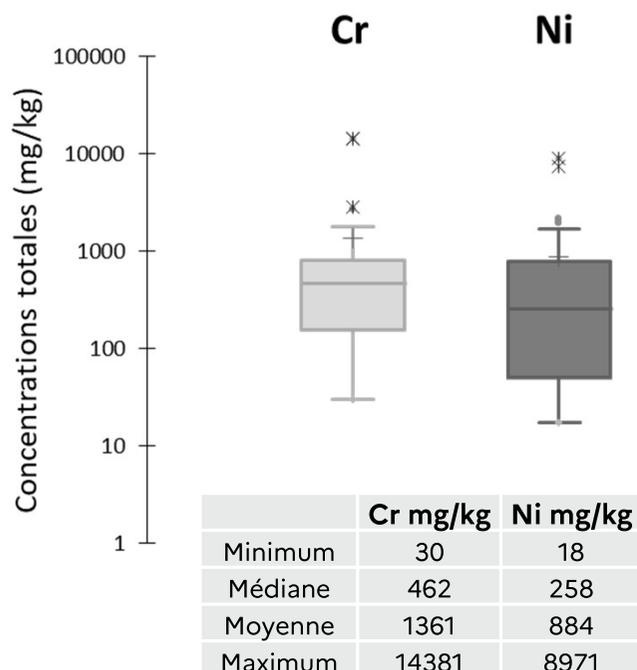
→ Collecte d'échantillons de sol

Premiers résultats

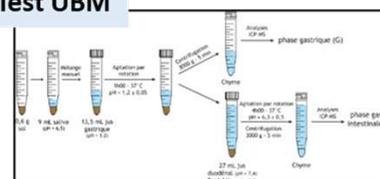
Evaluation de la bioaccessibilité de Cr et Ni

Disposer d'environ 30 échantillons de sols présentant une grande diversité en termes de paramètres physico-chimiques, de degrés de contamination en Cr et Ni et de sources de contamination :

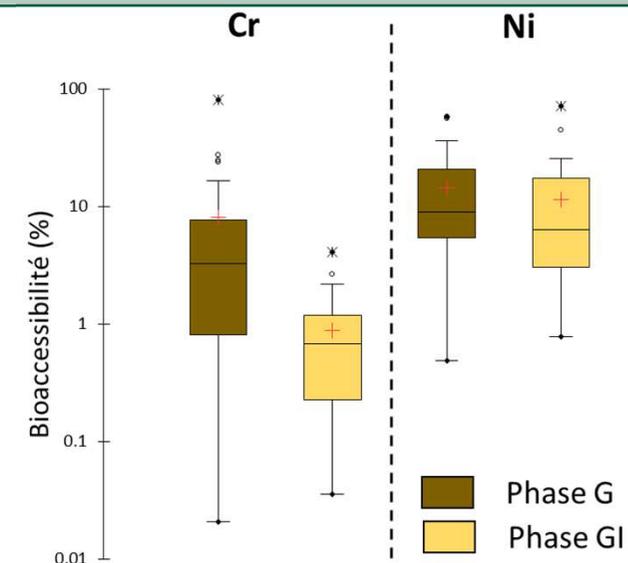
- ✓ 37 échantillons sur 18 sites
- ✓ France métropole, DOM (Réunion), TOM (Nouvelle Calédonie)
- ✓ Belgique, Ecosse, Irlande du Nord, Grèce



Test UBM



%	Cr_G	Cr_GI	Ni_G	Ni_GI
Minimum	0,02	0,04	0,5	0,8
Médiane	3,2	0,7	8,9	6,3
Moyenne	8,1	0,9	14,4	11,5
Maximum	80,2	4,1	58,3	71,3



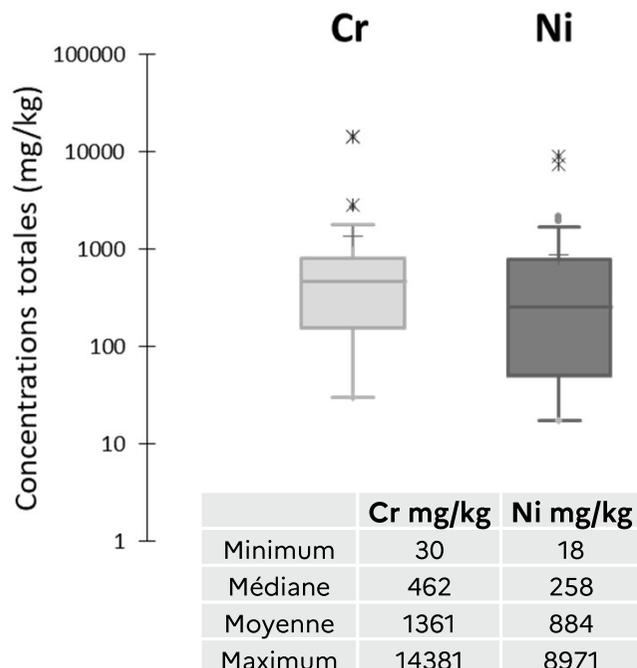
→ Collecte d'échantillons de sol

→ Sélection de 10 échantillons pour les essais *in vivo* (en cours)

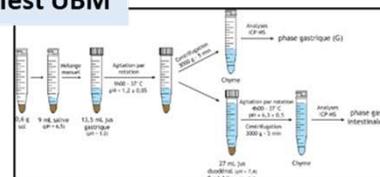


Premiers résultats

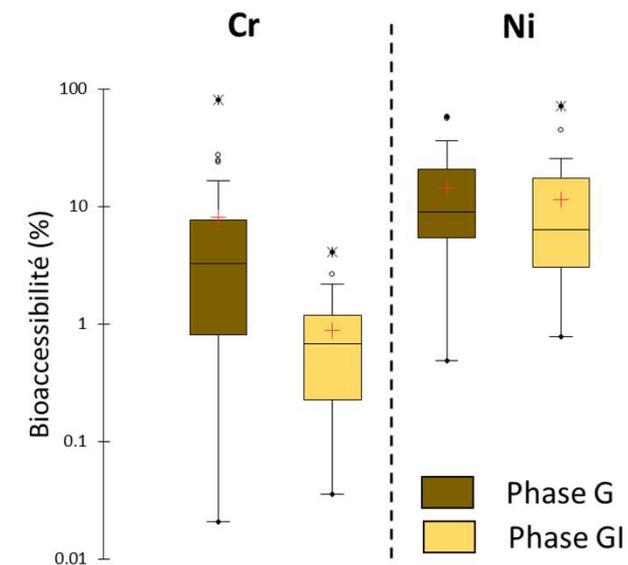
Evaluation de la bioaccessibilité de Cr et Ni



Test UBM

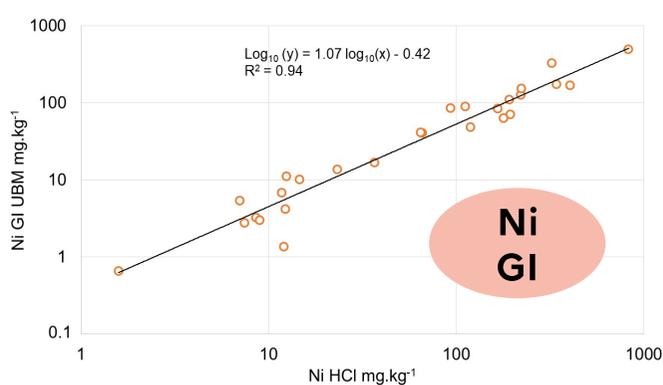
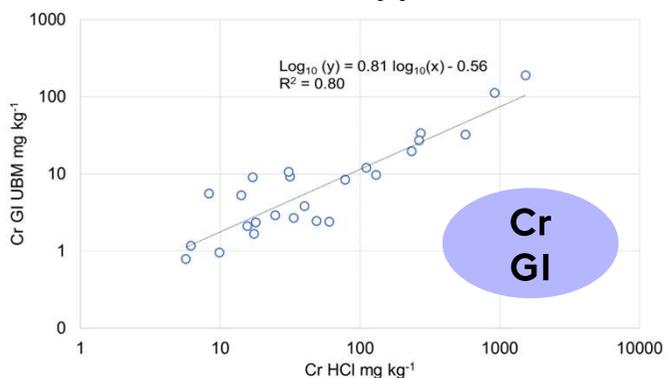
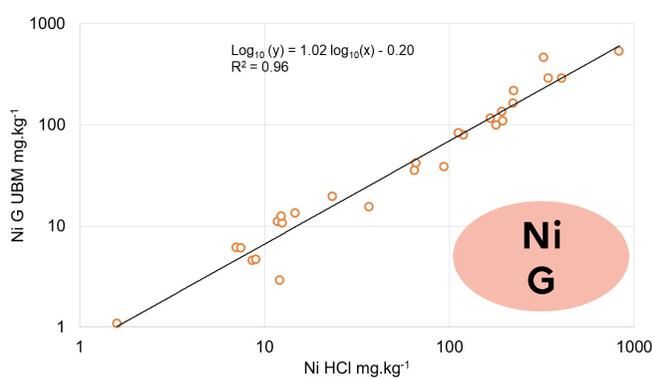
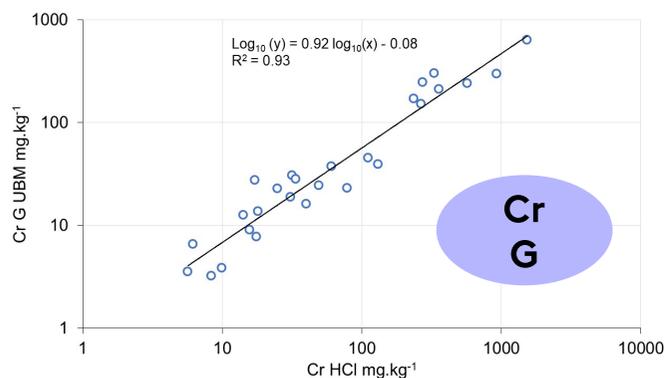


%	Cr_G	Cr_GI	Ni_G	Ni_GI
Minimum	0,02	0,04	0,5	0,8
Médiane	3,2	0,7	8,9	6,3
Moyenne	8,1	0,9	14,4	11,5
Maximum	80,2	4,1	58,3	71,3



Premiers résultats

Vers une prédiction de la bioaccessibilité au moyen du test simplifié ?



✓ Des premiers résultats encourageants

→ Collecte d'échantillons de sol

Premiers résultats

Expérimentations sur des sites en Ile de France

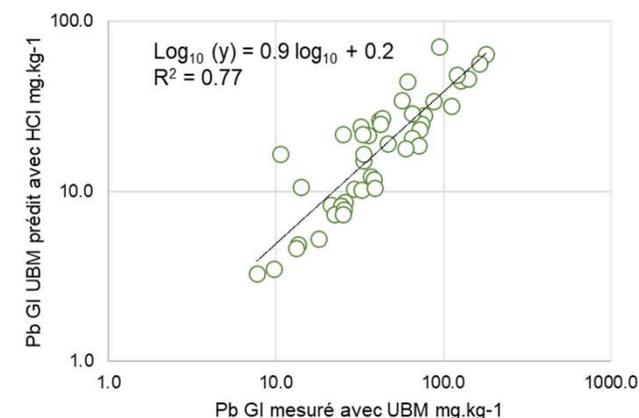
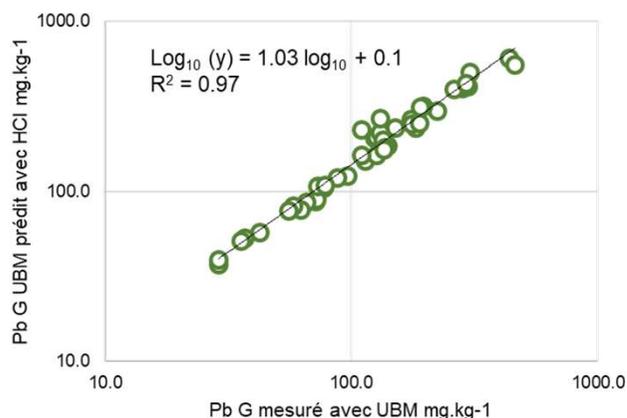
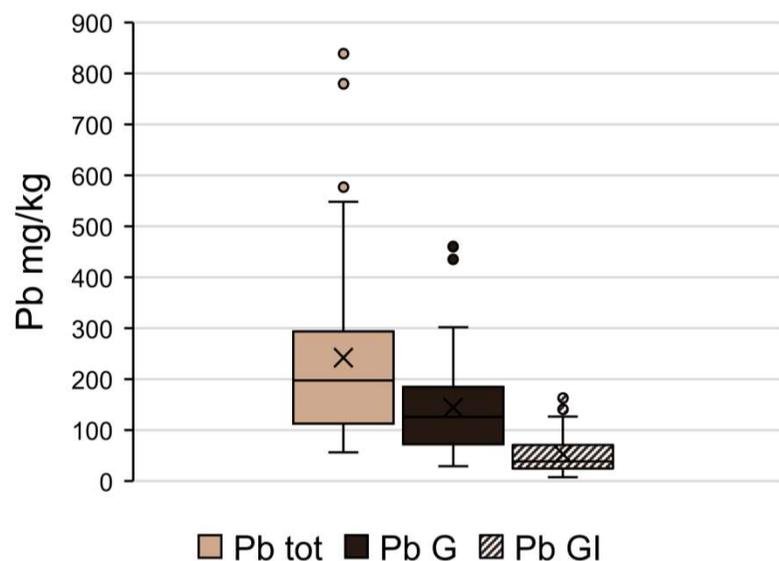
→ Evaluation de la bioaccessibilité de Pb



45 échantillons de sol contaminés majoritairement en Pb :
✓ Espaces verts parisiens
✓ Jardins urbains

Objectif : aider au cadrage et à la méthodologie pour l'utilisation de la bioaccessibilité

✓ Très bonne prédiction de la bioaccessibilité de Pb



Equations ODESSA :

$$\log_{10}[\text{Pb}]_{\text{BA prédicté G}} = 1,01 \times \log_{10}[\text{Pb}]_{\text{HCl}} - 0,06$$

$$\log_{10}[\text{Pb}]_{\text{BA prédicté GI}} = 1,11 \times \log_{10}[\text{Pb}]_{\text{HCl}} - 1,28$$

→ Impact du mode de préparation des sols sur la bioaccessibilité de Pb

Premiers résultats

Expérimentations sur des sites en Ile de France

Concentrations totales en Pb

ANOVA, Tukey test (p < 0,05)	Nombre de sols	%
Pas de différence	9	20
Broyée < tamisée	34	76
Broyée > tamisée	2	4

✓ Le broyage entraîne une sous-estimation des concentrations totales pour ¾ des sols

Impact sur le % de bioaccessibilité de Pb

ANOVA, Tukey test (p < 0,05)	Nombre de sols	%
Pas de différence	11	24
Broyé > tamisé	31	69
Broyé < tamisé	3	7

- ✓ Le broyage entraîne une sur-estimation du % de bioaccessibilité dans la majorité des cas
- ✓ Va à l'encontre de l'objectif d'affiner l'exposition

Gestion des SSP NF ISO 11464

Mesure des concentrations totales

Tamissage à 2 mm
Puis broyage jusqu'à ce que l'échantillon passe en totalité au tamis de 250 µm

VS

ISO 17924

Mesure des concentrations bioaccessibles

Echantillons tamisés à une fraction < 250 µm
Sans broyage

$$BA (\%) = \frac{BA (mg/kg)}{Conc\ tot (mg/kg)} \times 100$$

Préparation selon NF ISO 11464 = broyage
Préparation selon ISO 17924 = tamisage

Indispensable d'utiliser la même fraction tamisée pour déterminer les concentrations totales et bioaccessibles



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

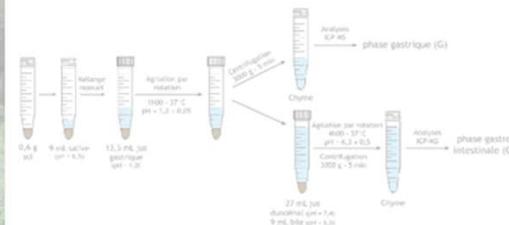
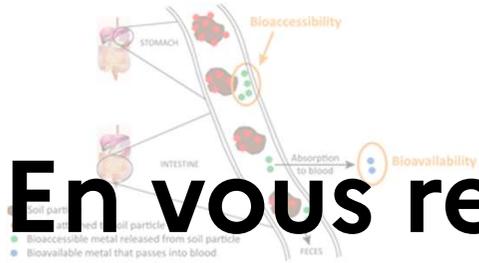


maîtriser le risque
pour un développement durable



Géosciences pour une Terre durable

brgm



En vous remerciant pour votre attention !