



**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 de la Transition écologique  
et de la Cohésion des territoires**



*maîtriser le risque |  
pour un développement durable*



**Caractérisation de la bioaccessibilité des métaux dans les sols :  
démarche et objectifs du groupe de travail**

**Rabia BADREDDINE**

*Ineris*

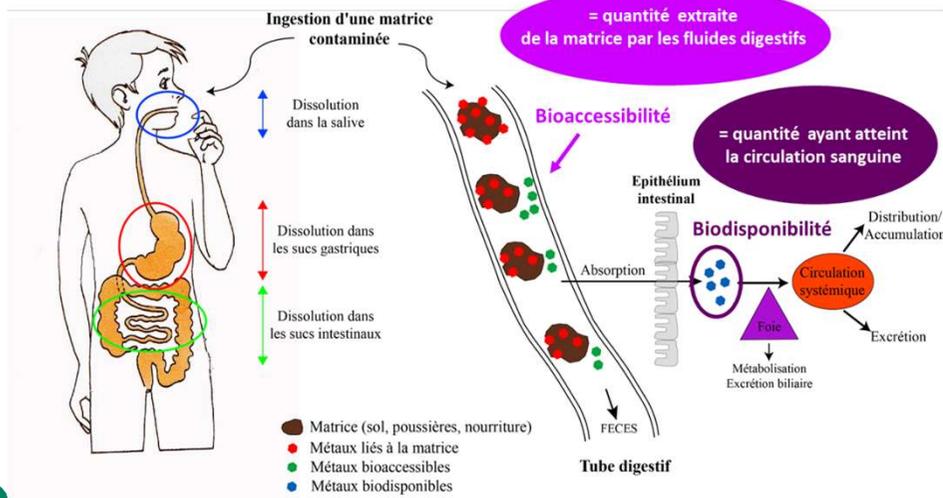
---

# Bioaccessibilité-Biodisponibilité



EQRS avec prise en compte de la fraction Totale

Surestimation potentielle des expositions et des risques sanitaires

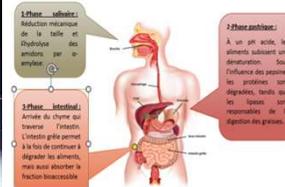


Ajustement et meilleure estimation de l'exposition et des risques

EQRS avec prise en compte de la fraction bioaccessible



Mesure de la biodisponibilité



Mesure de la bioaccessibilité



# Contexte d'utilisation de la bioaccessibilité

## Méthodologie nationale SSP (2017)

### IEM ou plan de gestion réalisé à l'issue d'une IEM

- Affiner les évaluations quantitatives des risques sanitaires avant de s'engager dans une démarche de plan de gestion

### Plan de gestion pour un projet d'aménagement ou de réhabilitation

- Influence significative de la bioaccessibilité sur les résultats de l'évaluation des risques
- Impact du bilan coûts avantages du projet au point de remettre en cause sa viabilité financière

## HAS – Dépistage Arsenic

Evaluation pertinente des expositions

Dépistage pour une concentration d'arsenic bioaccessible de **25 mg/kg**

## HCSP - Dépistage Plomb

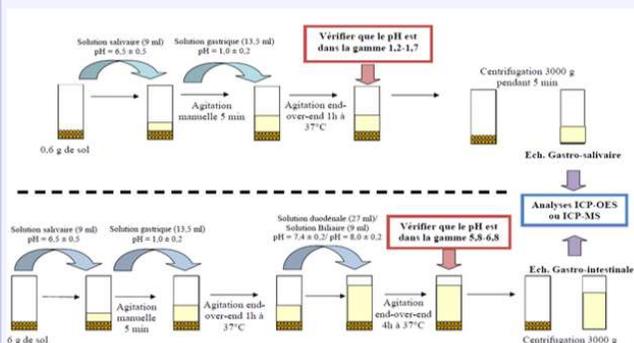
Estimer d'une manière plus réaliste l'exposition au plomb

Affiner la décision de dépistage en particulier autour des sites miniers où la biodisponibilité peut être faible



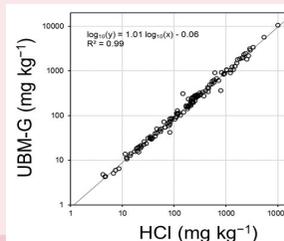
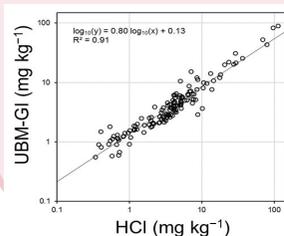
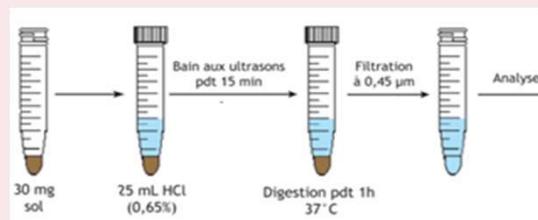
# Normes de bioaccessibilité

**Norme ISO/TS 17924 (2019) « 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 »**

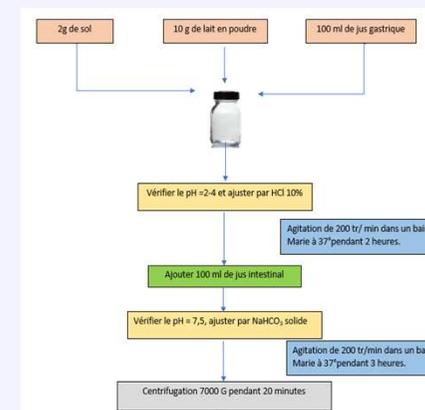


Validation / modèle *in vivo* pour As, Cd et Pb (porcelets)

**Projet de norme ISO/ CD 7303 - ISO/TC 190/SC 7/WG 4 « exposition humaine »**  
**« Méthode simplifiée pour la bioaccessibilité orale des métaux/métalloïdes dans les sols »**



**Projet de norme ISO/DS 8259-ISO/TC 190/SC 7 (évaluation des impacts) « Qualité du sol — Bioaccessibilité des polluants organiques et inorganiques des sols contaminés »**



**Norme NF ISO 17402 (2011) « Qualité du sol : lignes directrices pour la sélection et l'application des méthodes d'évaluation de la biodisponibilité des contaminants dans le sol et les matériaux du sol »** Principe des méthodes et exigences minimales pour le développement de méthodes (Métaux (y compris métalloïdes) et les contaminants organiques)

# Etat d'avancement des travaux sur la bioaccessibilité

## Ingestion

### Bioaccessibilité des métaux dans les sols et végétaux

Bioaccessibilité des métaux dans les sols (test UBM, As, Pb, Cd)  
**validé** par essais in vivo  
**REX** de l'utilisation de la bioaccessibilité

**Bioac'ERS et thèse associée (2021-2024)**  
**BAsR (2020 -2023)**

Bioaccessibilité des métaux dans les végétaux  
Revue bibliographique  
**REX** de l'utilisation de la bioaccessibilité (test UBM ; As, Cd, Pb ; Junia, Ineris, Ville de Paris...)

## Ingestion

### Bioaccessibilité des composés organiques dans les sols

Revue bibliographique  
Projet de recherche TROPHé et thèse(\*\*) : biodisponibilité et bioaccessibilité des PCB

Expérimentations en cours par l'Ineris

## Inhalation

Quelques études nationales (Junia, Université de Limoges...)

# Composition du groupe de travail

## Comité élargi



- Ministères
- Administrations
- Organismes publics
- Maitres d'ouvrages, collectivités, industriels
- Fédérations
- Bureaux d'études
- Laboratoires d'analyses

## Comité restreint





# Démarche et objectifs

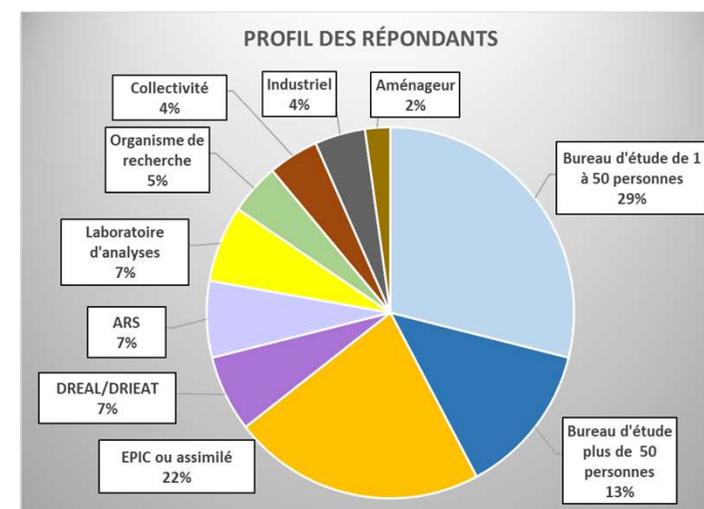




# Résultat de l'enquête et retour d'expérience (1/3)

## Utilisation de la bioaccessibilité

- La bioaccessibilité a été utilisée dans le cadre de la politique nationale SSP pour 72 % dont 46% (IEM) et 26% (PG et ARR).
  - Réhabilitation de sites (3/4, As)
  - Projet recherche (reconversion friche, plan de gestion)
  - Evaluation de l'exposition des usagers des jardins potagers
  - Dynamique des ETM en contexte naturels et anthropisés
  
- Les études utilisant la bioaccessibilité restent encore peu nombreuses, avec 87% des études mettant en œuvre les résultats concernant les métaux (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Zn avec principalement As, Pb et Cd)



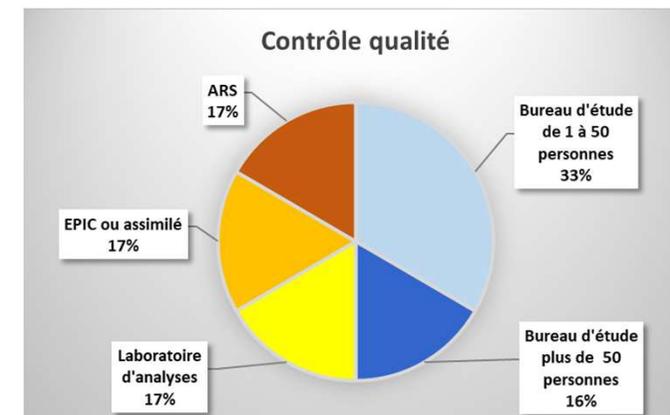
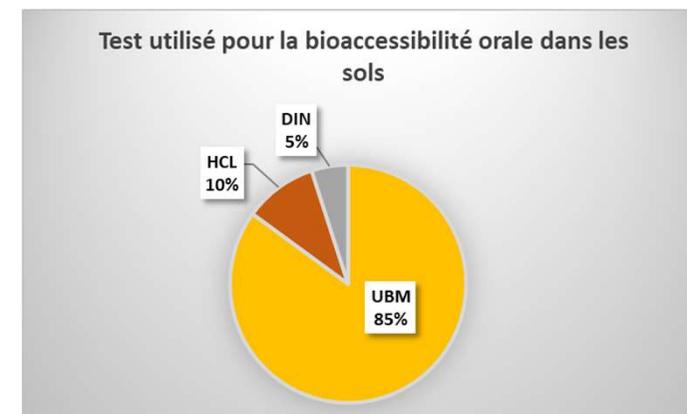
60 répondants sur 200 envois  
Taux de réponse de 33 % à l'enquête

# Résultat de l'enquête et retour d'expérience (2/3)

## Essai et contrôle qualité

❑ Besoins en recherche. Bioaccessibilité orale des composés organiques (33%) métaux dans les sols (20%) et dans les végétaux (21 %) Inhalation (18%)

- Essai et analyse (critères de choix des échantillons, essai et fraction utilisé)
- Contrôle qualité (Utilisation de sols de référence, Calcul d'incertitude, Existence des comparaisons inter-laboratoires, Performance de la méthode (répétabilité, fiabilité, blancs))

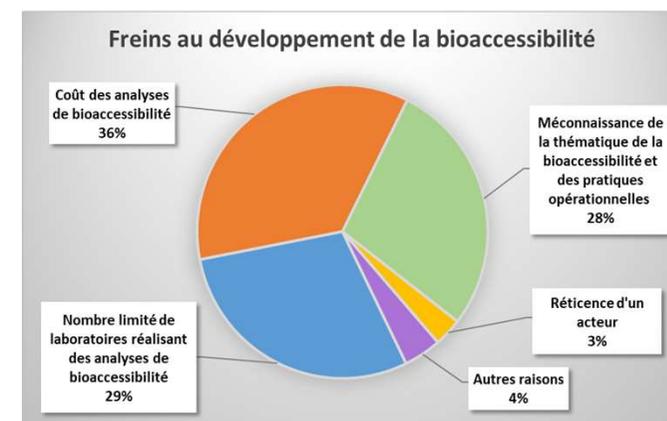
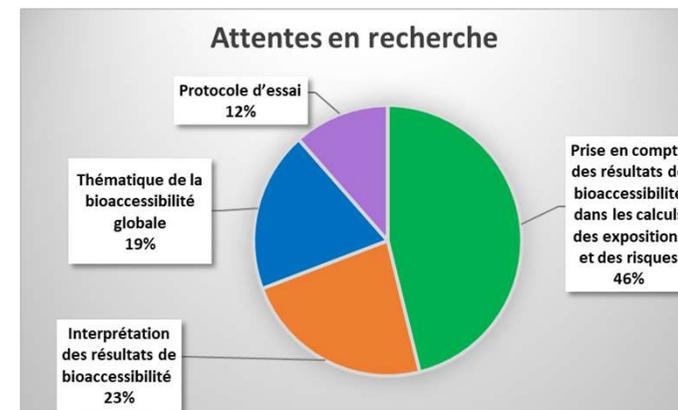




# Résultat de l'enquête et retour d'expérience (3/3)

## Attentes en recherche et freins

- ❑ Interprétation et prise en compte des résultats de la bioaccessibilité dans les calculs des risques sanitaires (71 %)
  - **Ajustement de la dose journalière de l'exposition (BG ou BGI, facteur correctif pour le plomb)**
  - **Extrapolation (Critères, prise en compte des caractéristiques physico-chimiques des sols)**
  
- ❑ Les freins identifiés sont le coût des analyses (36%), le nombre limité de laboratoire réalisant les analyses (29%) et la méconnaissance de la thématique (28%)



# Merci pour votre attention





**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 de la Transition écologique  
et de la Cohésion des territoires**

# **Bioaccessibilité orale des métaux et métalloïdes dans les sols**

## **Éléments du futur guide pratique**

**Intervenant**

**Corinne HULOT – *Ineris***



*maîtriser le risque |  
pour un développement durable*



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# Contexte de la rédaction du guide

Actualisation du rapport InVS-Ineris de 2012 pour sa partie sur la bioaccessibilité

Bioaccessibilité orale des métaux et métalloïdes dans les sols

Dans le cadre de différentes démarches de gestion

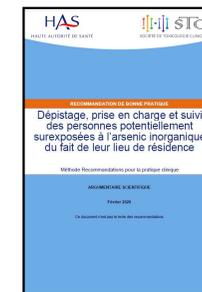
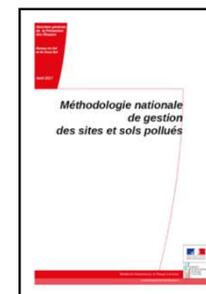
✓ Intégration des REX, résultats de projets de recherches nationaux (BAsR, Bioac'ERS,...), internationaux

✓ Réflexions en cours



Futur guide

[© Source Guide]





## Objectifs et contenu du guide

- ✓ traitant uniquement le cas As, Cd, Pb (cf. validation in vivo / in vitro )  
+ chrome, nickel, antimoine (si validés)

✓ avec

- modalités opérationnelles 
- points d'attention 
- recommandations 
- illustrations de cas 
- renvois vers des normes, d'autres références 

Quelles questions se poser  
Quelles informations sont  
nécessaires

...



# Architecture globale du futur guide

Phases d'entrée de la démarche

Identification *a priori* de la pertinence de mesures de bioaccessibilité pour ajuster la dose d'exposition

Mise en œuvre de tests (simplifié HCl, UBM) et autres analyses (chimiques, minéralogiques, extraction...)

- Préparation des échantillons (tamisage, pas de broyage)
- Analyses chimiques et contrôles qualité
- Interprétation

Intégration de la bioaccessibilité dans l'évaluation des expositions et des risques

Mesures de gestions opérationnelles



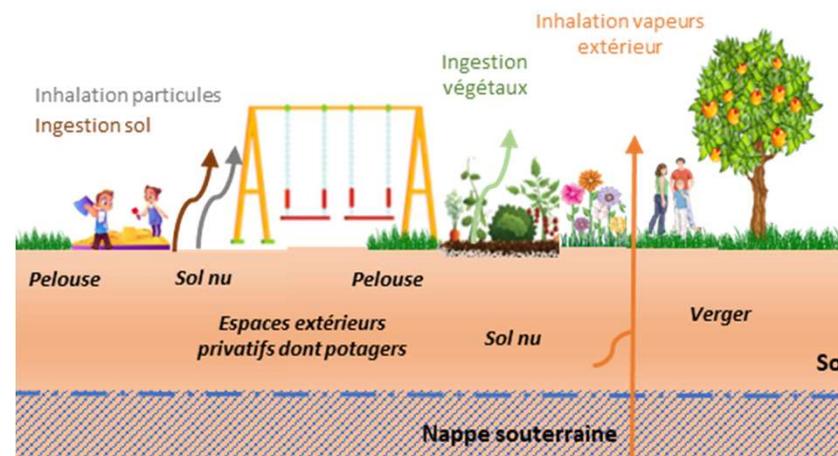
# Phases d'entrée de la démarche

Schéma conceptuel

Diagnostic :  
échantillonnage des sols,  
analyses en concentration totale (< 2 mm),  
(et autres paramètres physico-chimiques)

Interprétation des résultats en concentration totale

Si dépassement « de référentiels »,  
réalisation des calculs des expositions et des risques  
Si risques > aux critères d'acceptabilités



[© Source Ineris, Junia]



# Identification *a priori* de la pertinence de mesures de bioaccessibilité

L'ingestion de sol est-elle une  
voie d'exposition majeure ?

oui

L'utilisation de la  
bioaccessibilité est-elle  
appropriée pour ce site ?

oui



Potentielle modification des niveaux de risques ?

Au regard :

- des **concentrations totales**
- des gammes de **bioaccessibilité attendues** via des données de la littérature

Des répercussions attendues sur :

- les **mesures de gestion** ?
- les **coûts de remédiation** ?

- Identification des **conditions favorables pour réduire l'exposition**

- **Bénéfices pour les populations**

# Mise en œuvre de tests (HCl, UBM) et autres analyses



Une approche de « screening » est-elle à mettre en œuvre ?

oui

Test simplifié avec HCl (< 250 µm)

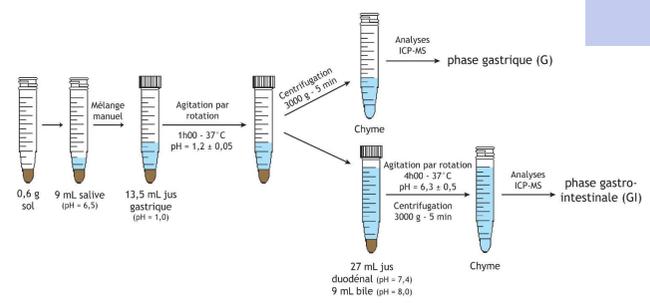
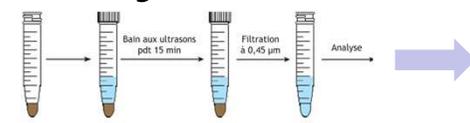
Prédiction de la bioaccessibilité « favorable » ?

oui

Test UBM sur qq échantillons choisis (< 250 µm)

Analyse critique des résultats (validité analytique, représentativité ...)

Schéma HCl et UBM



Élément	Phase	Equation
As	G	$\log_{10}[\text{As}]_{\text{BA}} = 0,83 \times \log_{10}[\text{As}]_{\text{HCl}} + 0,16$
	GI	$\log_{10}[\text{As}]_{\text{BA}} = 0,80 \times \log_{10}[\text{As}]_{\text{HCl}} + 0,13$
Cd	G	$\log_{10}[\text{Cd}]_{\text{BA}} = 1,00 \times \log_{10}[\text{Cd}]_{\text{HCl}} - 0,01$
	GI	$\log_{10}[\text{Cd}]_{\text{BA}} = 1,03 \times \log_{10}[\text{Cd}]_{\text{HCl}} - 0,41$
Pb	G	$\log_{10}[\text{Pb}]_{\text{BA}} = 1,01 \times \log_{10}[\text{Pb}]_{\text{HCl}} - 0,06$
	GI	$\log_{10}[\text{Pb}]_{\text{BA}} = 1,11 \times \log_{10}[\text{Pb}]_{\text{HCl}} - 1,28$



- ✓ Préparation des échantillons (tamisage, pas de broyage)
- ✓ Analyses chimiques, contrôles qualité
- ✓ Interprétation des résultats



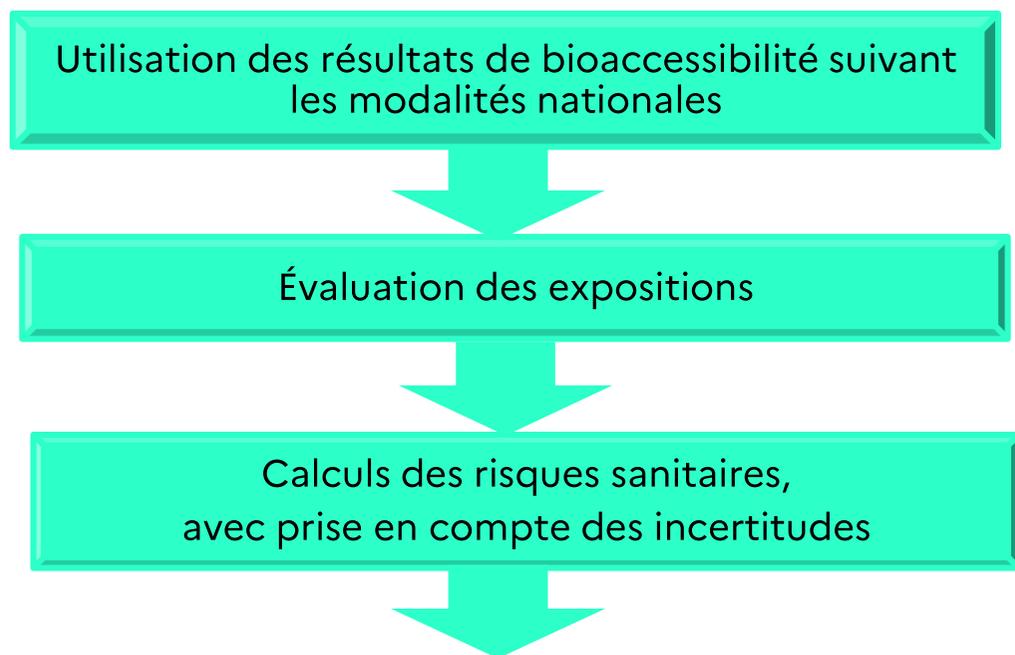
Tamisage à 2 mm puis à 250 µm  
[© Source Junia]

Extrapolation de la bioaccessibilité d'un échantillon à d'autres échantillons ?  
Si oui, quelles modalités ?

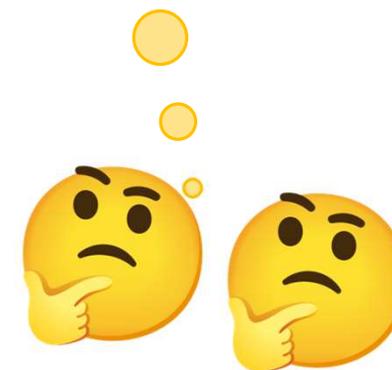


Caractérisations supplémentaires de paramètres physico-chimiques des sols, spéciation chimique, ... (cf. facteurs d'influence de la bioaccessibilité), ou tests de bioaccessibilités complémentaires (HCl, UBM) ?

# Intégration de la bioaccessibilité dans l'évaluation des expositions et des risques

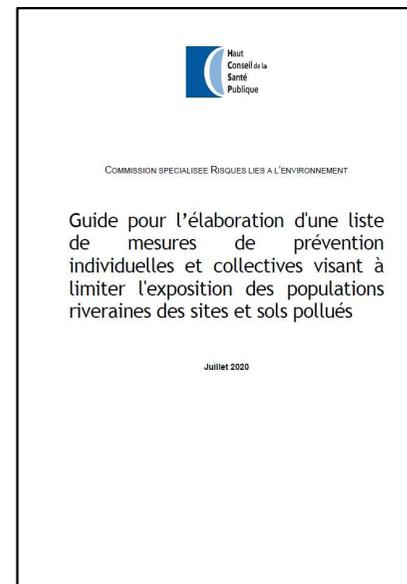


Bioaccessibilité gastrique ?  
Bioaccessibilité gastro-intestinale ?  
Ajustement au regard de la matrice sol ?



# Mesures de gestions opérationnelles

- Mesures de gestion des sols
- Dont recommandations en termes
  - de limitation des usages,
  - ✓ au regard de l'impact potentiel sur la bioaccessibilité et la pérennité des conclusions des évaluations des risques et des mesures de gestion proposées
  - ✓ conservation de la mémoire



Futur guide

## HYGIÈNE INDIVIDUELLE : EFFICACITÉ DE GESTES SIMPLES

- lavages fréquents des mains, avec du savon, surtout avant les repas
- veiller au bon lavage des mains des enfants,
- ongles coupés courts, régulièrement brossés,
- lavage fréquent des jouets utilisés en extérieur,
- ne pas laisser les enfants jouer dans la terre,
- lavage des vêtements de jardinage.



- [extrait plaquette ARS Conseils sanitaires destinés aux personnes vivant sur ou à proximité de sols fortement concentrés en métaux et métalloïdes]

# Calendrier prévisionnel



## Début 2024

- **GT restreint**

## Courant 1<sup>er</sup> semestre 2024

- **projet du guide**
- **GT restreint et élargi**

## Courant 4<sup>ème</sup> trimestre 2024

- **diffusion du guide**



# Merci de votre attention

# Vos questions

