



La gestion des anciens sites miniers Quels enjeux sur les aspects sanitaires : constats, retours d'expérience et recommandations

Corinne HULOT
INERIS



Plan

> Rappel du contexte



**« Présentation de la méthodologie générale de l'inventaire et de la classification DDIE
Présentation des différentes actions issues de l'inventaire et de la classification DDIE »**



GEODERIS

> Constats issus de différents cas rencontrés

> Quel impact réel sur la santé des populations, quelle est leur exposition réelle ?

> Evaluation des expositions

> Mesures de gestion adaptées

Constats issus de différents cas rencontrés

> Des concentrations en métaux et métalloïdes dans les

- sols, du mg/kg à 60 g/kg, dans certains cas très significatives

Pour les autres milieux :

- végétaux potagers, de **0,05 mg/kg MF à 1 mg/kg MF**, parfois supérieures aux valeurs de gestion (gamme VG pour Cd et Pb de 0,05 à 0,3 mg/kg MF)
- eaux souterraines, de puits privés, de cours d'eau, de **0,01 à 2 000 µg/l**, parfois supérieures aux valeurs de gestion (des eaux destinées à la consommation humaine du Pb et As de 10 µg/l)

➤ Des évaluations des risques sanitaires

- par exemple, pour des scénarios avec présence d'enfants avec des activités de jeux et une exposition par ingestion de sol, avec des résultats problématiques ($QD_{Pb} > 100$, $ERI_{As} > 10^{-4}$)
- pas suffisantes en matière d'outil d'aide à la décision dans ces situations.



Quel impact réel sur la santé des populations, quelle est leur exposition réelle ?



- > Seules des études épidémiologiques ou d'imprégnations pourraient apporter des éléments de réponse
- > Cas du plomb et avis du HCSP de 2014 « détermination de nouveaux objectifs de gestion des expositions au plomb »
 - « en pratique la plombémie est l'indicateur de référence pour mettre en évidence une contamination par le plomb et son évolution dans une population, déterminer l'urgence d'une intervention médicale ou apprécier l'efficacité d'une prise en charge »
 - Des concentrations devant conduire à un dépistage du saturnisme infantile

Milieu	Sols	Poussières déposées dans les logements	Eau de boisson
Concentration moyenne entraînant un dépistage du saturnisme (plombémie attendue > 50 µg/L chez environ 5 % des enfants)	300 mg(Pb)/kg(sol)	70 µg/m ²	20 µg/L

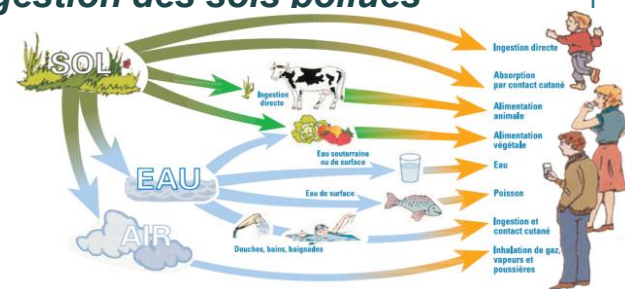
- 3 cas définis par le HCSP au regard des concentrations dans les sols
 - < 100 mg/kg (moyenne arithmétique) => pas de préconisations particulières
 - > 300 mg/kg (moyenne arithmétique) => suivi des recommandations : dépistage des enfants et des femmes enceintes, préconisé dans la zone à considérer, étude de risque (une attention particulière aux sols d'espaces collectifs et conditions d'exposition actuelles et futures)
 - entre 100 et 300 mg/kg => réalisation d'une évaluation des risques avec la VTR de l'EFSA et analyse technico-économique pour déterminer les mesures de gestion



Evaluation les expositions

> La mesure des expositions

- connaître les usages réels des milieux
- connaître la qualité des milieux d'exposition par des mesures
- schéma conceptuel



> La réalisation de diagnostics

- caractéristiques :
 - physico-chimiques (granulométrie des matériaux - potentiel de transfert, etc.)
 - biologiques (bioaccessibilité)
- concentrations dans :
 - les sols
 - les eaux
 - les végétaux potagers
 - les particules inhalées
 - les poussières déposées sur les sols des habitations



Choix des scénarios et paramètres d'exposition pertinents

➤ Certains scénarios d'exposition très spécifiques

- zones avec des habitations permanentes ou temporaires, avec ou sans jardin potager
- écoles, aires de jeux, terrain de sport
- zones touristiques avec des gîtes ruraux, des sentiers de randonnée, etc.



➤ Des valeurs des paramètres d'exposition

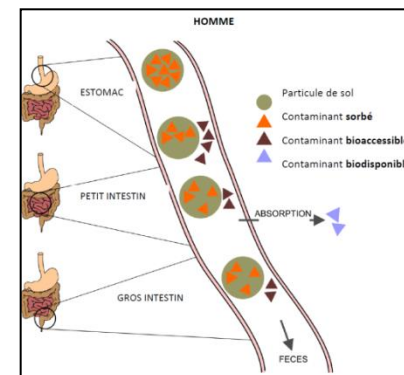
- issues en priorité des enquêtes de terrains
- le cas échéant de bases de données



La bioaccessibilité

> Une estimation plus réaliste de l'exposition

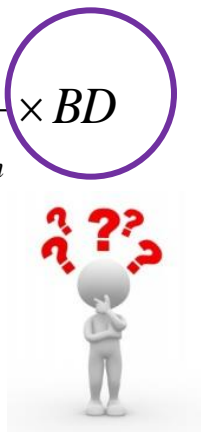
- pour les substances non volatiles, l'ingestion de terre et de poussières, une des voies d'exposition majeure au niveau des risques, notamment pour les cibles sensibles, les enfants
 - les doses d'exposition calculées sur la base
 - de la concentration totale de l'élément dans le sol
 - alors que seule la fraction biodisponible de cet élément, à même d'induire un effet toxique dans l'organisme
- la biodisponibilité (fraction ayant passé les barrières biologiques), approchée notamment par la bioaccessibilité (test UBM - Unified Barge Method)
- la caractérisation des bioaccessibilités gastrique et intestinale



La bioaccessibilité et la dose d'exposition

> Pour les substances ingérées, la dose journalière d'exposition

$$DJE = \frac{C \times Q \times F}{P} \times \frac{T}{T_m} \times BD$$



avec DJE : Dose journalière d'exposition (mg/kg_{pc.j}) ;

C : Concentration dans le milieu (mg/kg_{de terre}) *via la mesure* ;

Q : Quantité de terre et poussières ingérée par jour (mg/j) ;

P : Poids corporel de la cible (kg) ; F : Fréquence d'exposition annuelle (X j / 365 j) ; T : Durée d'exposition (an) ; T_m :

Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (an) [substance à effets à seuil : T_m=T, substance à effets sans seuil : T_m = 70 ans (vie entière)] ; BD : Biodisponibilité de l'élément issu du sol

> Suite aux travaux de Caboche (2009) et InVS et INERIS (2012)

- pour l'arsenic (As) et le cadmium (Cd) : $DJE_{ajustée} = DJE \times BA_{Terre}$
- pour le plomb (Pb) : $DJE_{ajustée} = DJE \times 2 \times BA_{Terre}$

avec DJE : dose journalière d'exposition, BA_{Terre} : bioaccessibilité absolue de substance avec la matrice terre

Remarque : parmi les valeurs de bioaccessibilité gastrique et intestinale, prise en compte de la bioaccessibilité maximale



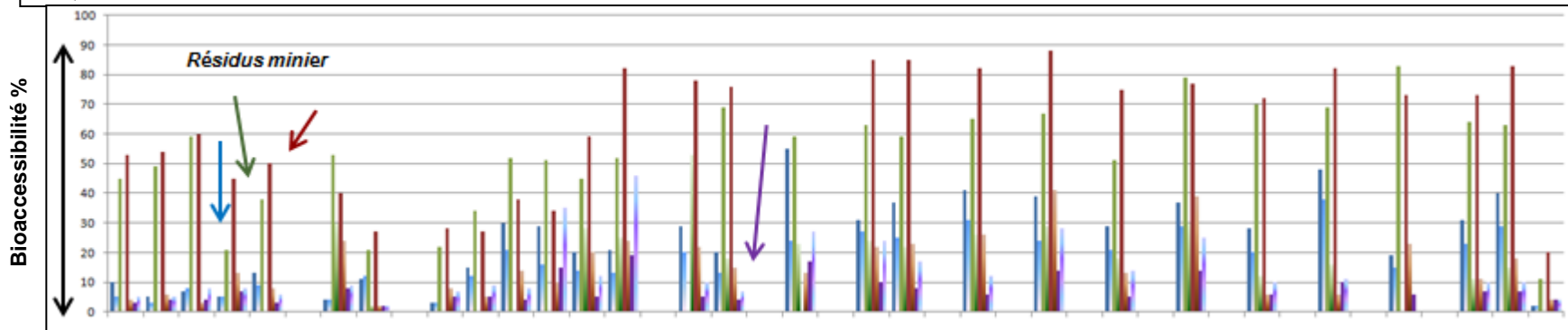
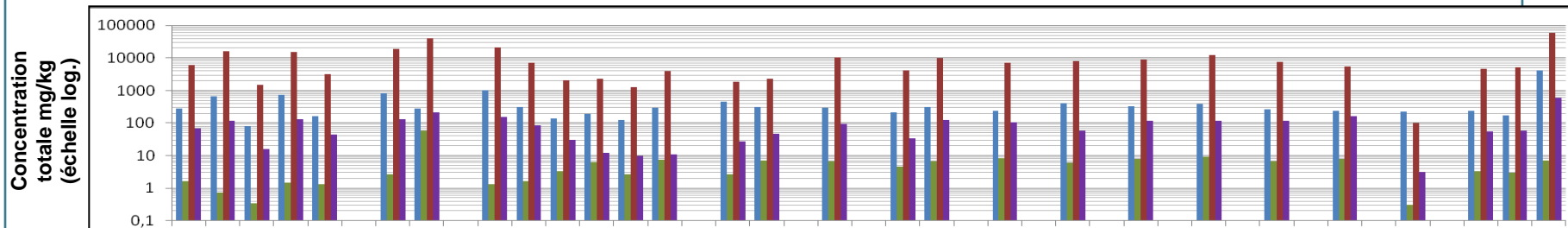
La bioaccessibilité – REX de quelques sites

- > **Données issues de la littérature (extrait de InVS, INERIS, 2012)**
 - Sols miniers, pour le Pb, gamme de la bioacc. gast. de 4 à 90 % (53 éch.)
 - Impact de paramètres physico-chimiques du sol (granulométrie, pH, matière organique,...) et autres éléments que ceux étudiés (carbonates, oxydes, etc.)
- > **Etudes INERIS/MEDDE, INERIS/GEODERIS depuis 2012**
 - Sols miniers pour Cd et Pb, bioacc. gast > bioacc. int. (-> facteur 20), plus marqué pour le Pb (qq. exceptions), *a contrario* pour As et Sb, des valeurs généralement plus faibles
 - Gammes de valeurs pour plusieurs sites

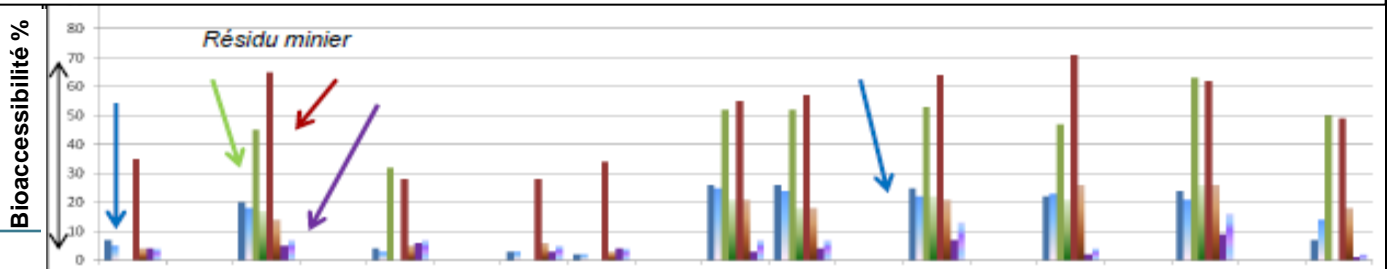
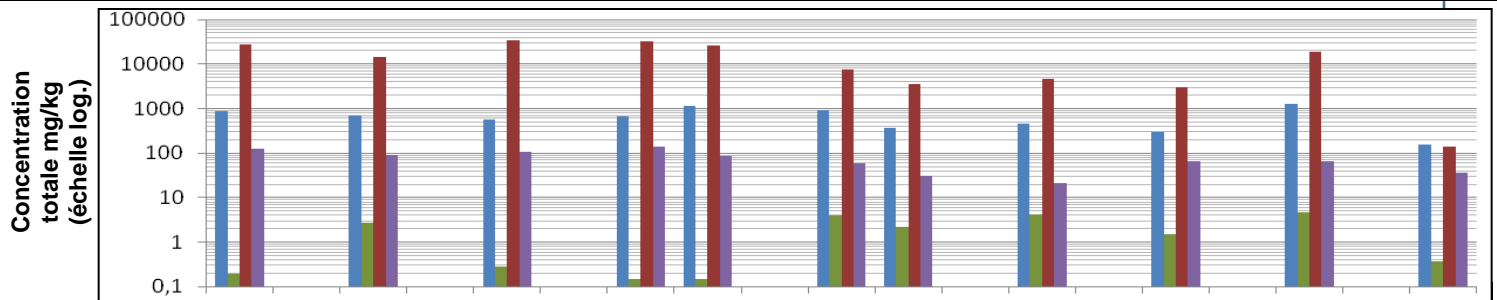
Historique de contamination	Milieu	Bioaccessibilité gastrique en % de la concentration totale (nbre éch.)			
		Pb	As	Cd	Sb
Site 1, minerai concentré, Pb, As	Sols/ Résidus	20 [1 seul = 13% B.I.] – 88 (28)	2 – 55 (28)	1 – 83 (28)	2 – 19 (28)
Site 2, minerai concentré, Pb, As	Sols/ Résidus	28 – 71 (11)	2 – 26 (11)	32 – 63 (11)	2 – 19 (11)
Site 3, exploitation de Pb	Sols/ Résidus	39 [1 seul < 60%] – 100 (34)	9 – 29 (34)	30 – 88 (34)	1 – 12 (34)
	Végétaux potagers	19 – 100 (6)	85 (1)	49 – 72 (14)	10 – 67 (4)
Site 4, exploitation d'As	Sols/ Résidus	/	37 – 65 (8)	/	5 – 22 (B.I.) (8)
	Végétaux potagers	/	57 – 100 (6)	/	30 – 37 (B.I.) (3)
Site 5, exploitation de Pb	Sols/ Résidus	14 – 71 (4)	4 – 26 (4)	33 – 100 (4)	/
	Végétaux potagers	11 – 100 (3)	8 – 67 (3)	50 (1)	/
Site 6, exploitation de Fe, Pb	Sols/ Résidus	2 [5 < 20%] – 65 (9)	1 – 12 (9)	48 – 64 (2)	1 – 2 (6)

 **Une large gamme de valeurs dans les sols et les végétaux pour une même substance**

La bioaccessibilité – Exemples pour les sols (sites 1 et 2)



- (%) As bioacc gast.
- (%) As bioacc int.
- (%) Cd bioacc gast.
- (%) Cd bioacc int.
- (%) Pb bioacc gast.
- (%) Pb bioacc int.
- (%) Sb bioacc gast.
- (%) Sb bioacc int.



La bioaccessibilité

> Lors des diagnostics pour les métaux et métalloïdes

- analyses de concentrations totales en métaux et métalloïdes
- au regard des résultats, choix des échantillons pour la mesure de bioaccessibilités gastriques et intestinales (As, Cd, Pb, Sb)



> REX en termes de résultats de bioaccessibilités

- une large gamme de valeurs dans les sols et les végétaux pour une même substance



➤ Réalisation de mesures de bioaccessibilités spécifiques au site étudié

➤ Dans le cas de concentrations élevées, l'étude de bioaccessibilité n'est plus pertinente

- cas plomb : facteur 2 dans l'ajustement de la dose d'exposition, *a minima* les valeurs de bioaccessibilité doivent être < à 50 %





Des mesures de gestion adaptées, proportionnées

- > **Echanges entre les services sanitaires et les services en charge de l'environnement sous l'autorité du Préfet**
- > **Sources de pollution (tas de résidus, bassins, etc.)**
 - mise en sécurité pour maîtriser les risques et limiter les impacts
 - suppression des envols de poussières et du transport particulaire ou dissous par les eaux météoriques vers les cours d'eau, etc.
- > **Milieux d'exposition, au regard de l'étendue des zones concernées**
 - décaissement, recouvrement de la totalité des sols apparaît d'emblée irréaliste
 - études au cas par cas de mesures ciblées
 - pour les populations, mesures simples d'hygiène (lavage soigné des mains, etc.)
 - pour les enfants, mise en place de bacs à sable ou d'aires de jeux dédiées
 - si présence de jardins potagers, le lavage soigné des végétaux potagers, une consommation variée, des restrictions d'usage ou la modification des pratiques culturales (cultures hors sol) ou réaménagement des jardins par apport de terre de qualité contrôlée
- > **Hiérarchisation des actions, en tenant compte de la sensibilité des populations exposées et des usages constatés (ex. présence d'enfants en bas âge)**
- > **Prise en compte des actions de dépistage et études d'imprégnation**



Merci de votre attention

Vos questions

