



Retour d'expérience : Bioaccessibilité des métaux dans les sols

Site dans le Val-de-Marne (94)

Mars 2023

RSK



Contexte de l'intervention

- Sollicitation d'une commune du val-de-Marne (94) pour le diagnostic d'une parcelle accueillant des jardins familiaux dans le cadre :
 - d'une démarche globale de diagnostic des parcelles cultivées pour **connaître la qualité des sols utilisés à des fins comestibles**
 - d'un projet de réaménagement d'une partie du site

- 47 jardins familiaux d'une surface totale de 10 500 m²
 - 32 jardins familiaux appartenant à la commune sur une surface de 6 500 m²
 - Autres jardins : Fédération Nationale des Jardins Familiaux et Collectifs (traité séparément)



Contexte de l'intervention

- Historique :
 - années 1920 : parcelles agricoles
 - années 1930 : terrassements
 - depuis les années 1940 : jardins familiaux

- Source potentielle de contamination :
 - remblais entreposés sur le site dont l'origine est inconnue

1936



Diagnostic des jardins familiaux

Investigations environnementales réalisées en 2 étapes en 2021 comprenant :

- 58 prélèvements d'échantillons composites de sol de surface (20 à 30 cm de profondeur) soit environ 2 échantillons par jardin
- 15 prélèvements de sol jusqu'à 1 m de profondeur à proximité des arbres fruitiers
- 3 prélèvements d'eau souterraine (au droit des puits présents sur site)
- 11 prélèvements de végétaux
 - carottes, choux, laurier, romarin, courge, artichauts, salades, ail, fèves



Diagnostic des jardins familiaux

Résultats :

➤ Teneurs en **métaux**

- dans les sols à des teneurs significatives
- dans les eaux souterraines en aval latéral du site
- dans les végétaux comestibles

➤ Autre composés à des teneurs moins significatives

- hydrocarbures dans les sols, les eaux souterraines et les végétaux
- HAP et créosotes dans les sols
- PCE dans les eaux souterraines

Conséquence immédiate :

- Fermeture des jardins et information des jardiniers sur les forts niveaux de contamination en métaux, intervention ARS

Métaux	90 ^{ème} percentile dans les sols superficiels (mg/kg MS)
Arsenic	31,4
Cadmium	4,7
Cuivre	515
Mercure	5,3
Nickel	39,5
Plomb	1 064
Zinc	1 060

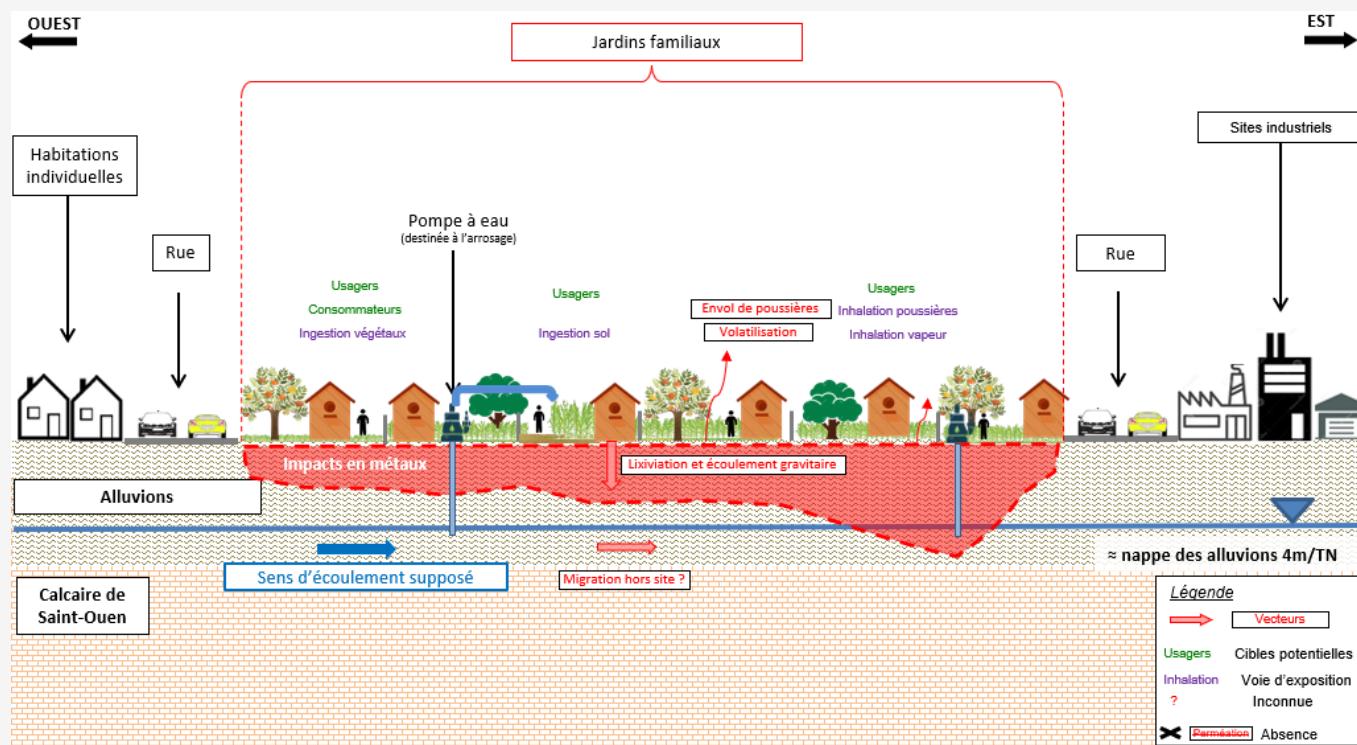
Seuil HCSP Pb 300 mg/kg MS devant conduire à un dépistage dans la population des enfants de moins de 7 ans et des femmes enceintes ou envisageant une grossesse dans les 6 mois

Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS)

Objectif : évaluation de l'exposition des usagers des jardins potagers

Voies d'exposition étudiées

- Ingestion de sol
- Ingestion de végétaux
- Inhalation de poussières
- Inhalation de vapeurs



Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS)

- Doses Journalières d'Exposition (DJE) estimées à partir du 90^{ème} percentile des teneurs mesurées dans les sols et les végétaux
- Budget Espace-Temps prenant en compte
 - la fréquentation des jardins constatée par la commune
 - les consommations journalières moyennes des consommateurs (étude INCA 3 de l'ANSES)
 - une quantité journalière de sols ingérés de 200 mg/j
 - un pourcentage d'autoconsommation différent selon les types de végétaux
 - 26% pour les légumes et légumineuses
 - 24 % pour les légumes racinaires (pommes de terre et autres tubercules)
 - 13 % pour les fruits
 - 80 % pour les herbes (cohérent avec l'usage du site)

Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS)

Résultats : la qualité des milieux n'est pas compatible avec l'usage de jardins potager

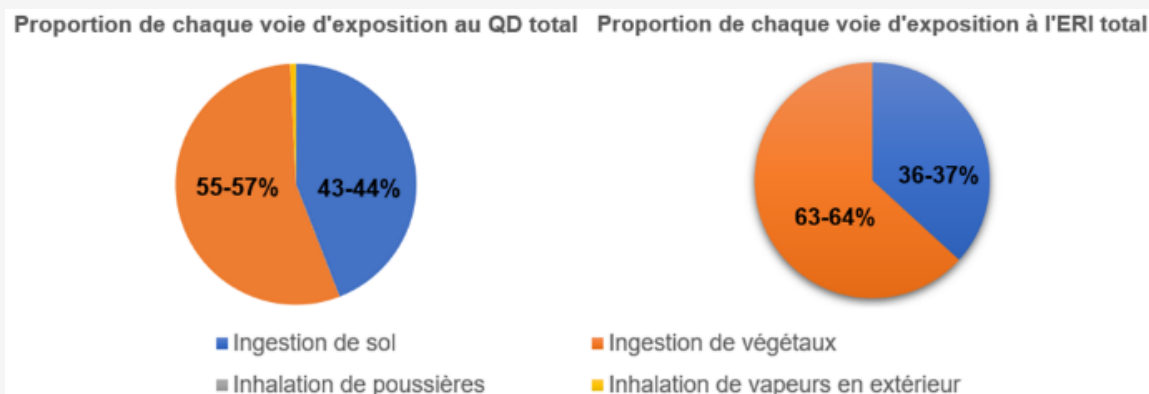
Niveaux de risques qui résultent majoritairement de l'exposition par

- ingestion de sol
- ingestion de végétaux autoproduits

en raison de la présence de **plomb et d'arsenic**

- plomb
- arsenic

Paramètre de risque	Critère d'acceptabilité	Adulte	Enfant
QD total	1	8,7	20,9
ERI total	1 ^E -05	1,5 ^E -04	7,1 ^E -05



Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS)

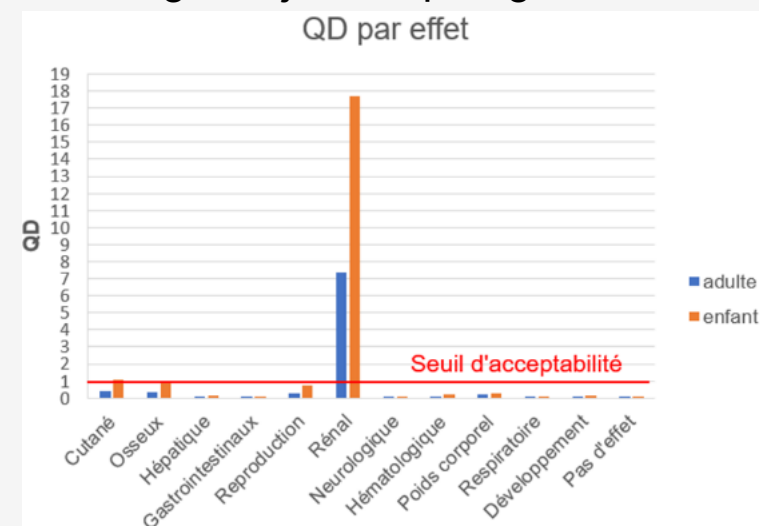
Résultats : la qualité des milieux n'est pas compatible avec l'usage de jardins potager

Niveaux de risques qui résultent majoritairement de l'exposition par

- ingestion de sol
- ingestion de végétaux autoproduits

en raison de la présence de **plomb** et **d'arsenic**

- plomb
- arsenic



Effet	Composés	QD					TOTAL
		Ingestion de sol	Ingestion de végétaux	Inhalation de poussières	Volatilisation depuis les sols	Volatilisation depuis les eaux souterraines	
Rénal	Plomb	3,6E+00	3,7E+00	8,9E-07	-	-	7,4E+00
	Hydrocarbures aromatiques C5-C7	-	-	-	-	-	
	Hydrocarbures aromatiques C7-C8	-	5,6E-03	-	-	-	
	Hydrocarbures aromatiques C8-C10	-	-	-	-	-	
	Hydrocarbures aromatiques C16-C22	4,7E-03	4,0E-02	-	-	-	
	Hydrocarbures aromatiques C22-C30	8,0E-03		-	-	-	
	Hydrocarbures aromatiques C30-C40	7,3E-03		-	-	-	
	Fluoranthène	2,2E-04	-	-	-	-	
	Pyrène	2,3E-04	-	-	-	-	
	Benzo(g,h,i)peryène	1,2E-04	-	-	-	-	

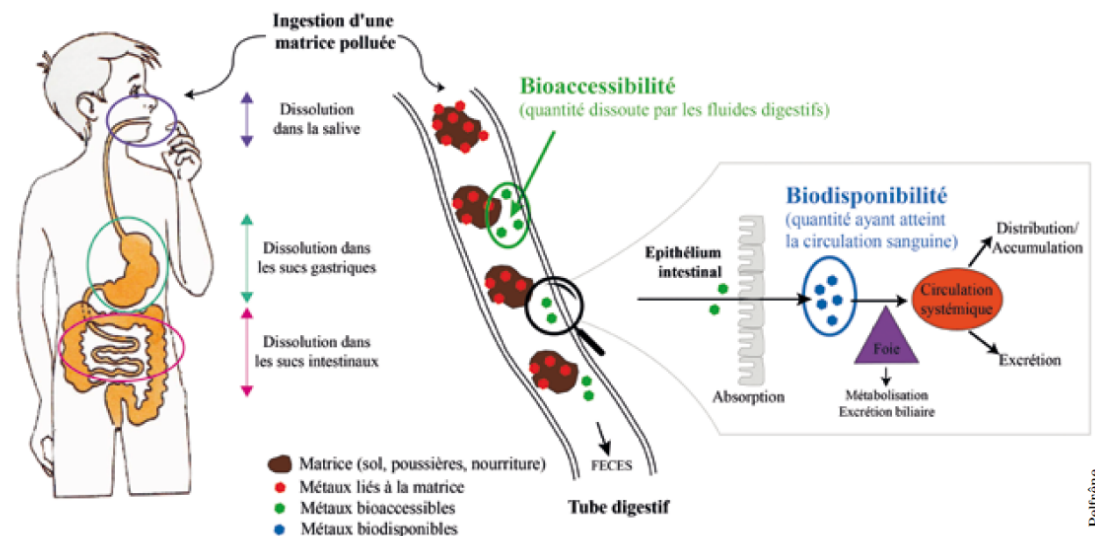
RSK

Incertitudes, introduction de la bioaccessibilité

- Pour l'ingestion de sol, le calcul d'exposition a été réalisé en prenant en compte **les teneurs totales des composés dans les sols superficiels**

alors que **seule la fraction biodisponible** (fraction du polluant étudié qui atteint la circulation sanguine) **peut induire un effet toxique**.

- L'utilisation de la bioaccessibilité (quantité dissoute par les fluides digestifs) permet d'estimer la biodisponibilité. Ce paramètre est influencé par les caractéristiques physico-chimiques du sol et la nature du composé.



Schématisation des notions de bioaccessibilité et biodisponibilité en cas d'ingestion d'une matrice contaminée.

Test de bioaccessibilité

Objectif : affiner l'estimation des expositions liées à l'ingestion de sol

➤ Méthodologie : test normalisé UBM (Unified Bioaccessibility Method)

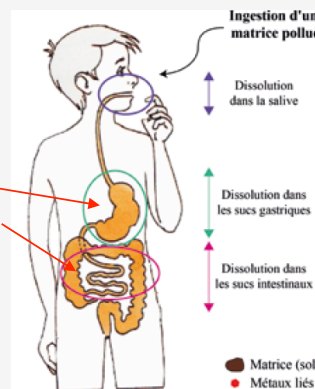
➤ Echantillons sélectionnés au regard de leurs teneurs élevées en As, Cd et Pb (échantillons doublons)

Composé	Teneur dans les sols (mg/kg MS)		
	Ech. n°1	Ech. n°2	Ech. n°3
Arsenic	29,7	46,3	93,3
Cadmium	6,7	5,7	11,4
Plomb	1 670	790	1 200

➤ Résultats

➤ G : Phase Gastrique

➤ GI : Phase Gastro-intestinale



Composé	Ech. n°1		Ech. n°2		Ech. n°3	
	G	GI	G	GI	G	GI
Arsenic	40%	32%	40%	38%	61%	58%
Cadmium	89%	29%	66%	24%	83%	40%
Plomb	83%	1,5%	79%	3,2%	93%	4,2%

Intégration des résultats de bioaccessibilité dans l'EQRS

Calcul de la Dose Journalière d'Exposition ajustée

$$DJE_{\text{ajustée}} = DJE \times BA_{\text{Terre}} \times \text{coefficient}$$

Composé	Ech. n°1		Ech. n°2		Ech. n°3	
	G	GI	G	GI	G	GI
Arsenic	40%	32%	40%	38%	61%	58%
Cadmium	89%	29%	66%	24%	83%	40%
Plomb	83%	1,5%	79%	3,2%	93%	4,2%

- BA : bioaccessibilité
 - Bioaccessibilité gastro-intestinale maximale parmi les 3 échantillons analysés retenue
 - Choix sujet à discussion : la fiche de technique innovante recommande de prendre en compte la valeur de bioaccessibilité la plus élevée des 2 phases (d'après INVS-INERIS 2012)
- Coefficient : 1 (pour As et Cd) et 2 (pour Pb)
 - Coefficients issue de la méthodologie présentée dans la fiche de technique innovante (d'après INVS-INERIS 2012) sur la base d'études toxicologiques et de taux d'absorption

Intégration des résultats de bioaccessibilité dans l'EQRS

Résultats : niveaux de risques plus faibles mais qui restent inacceptables

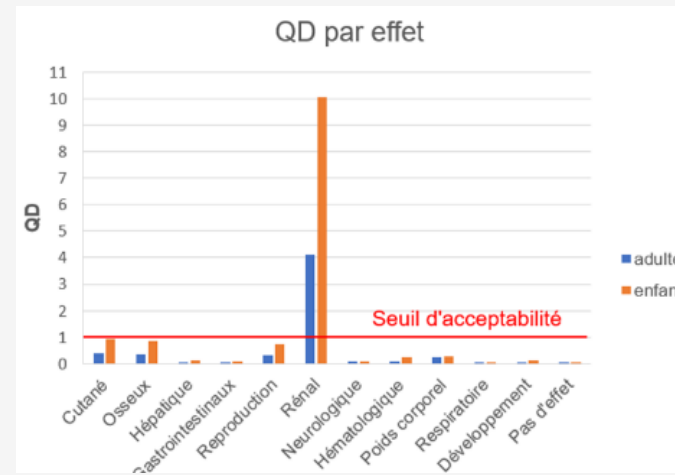
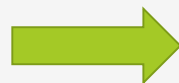
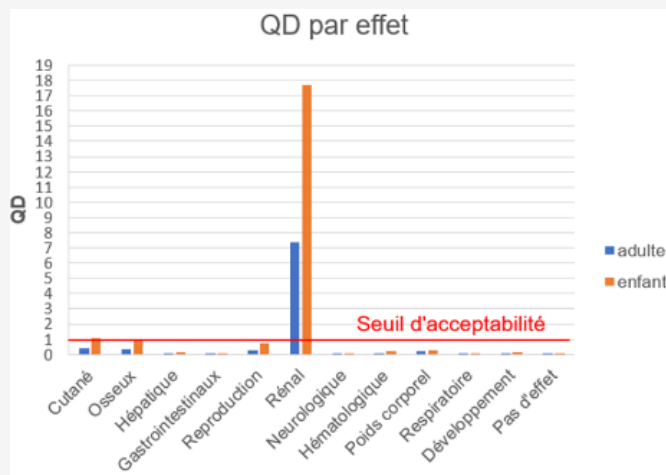
Calcul initial (sans bioaccessibilité)

Paramètre de risque	Critère d'acceptabilité	Adulte	Enfant
QD total	1	8,7	20,9
ERI total	1 ^{E-05}	1,5 ^{E-04}	7,1 ^{E-05}



Avec intégration bioaccessibilité

Paramètre de risque	Critère d'acceptabilité	Adulte	Enfant
QD total	1	5,4	13,1
ERI total	1 ^{E-05}	1,2 ^{E-04}	5,9 ^{E-05}



Intégration des résultats de bioaccessibilité dans l'EQRS

Résultats : niveaux de risques plus faibles mais qui restent inacceptables

Calcul initial (sans bioaccessibilité)

Niveaux de risques qui résultent majoritairement de l'exposition par

- ingestion de végétaux autoproduits
- ingestion de sol

en raison de la présence de **plomb et d'arsenic**

- plomb (sol et végétaux)
- arsenic (sol et végétaux)

Avec intégration bioaccessibilité

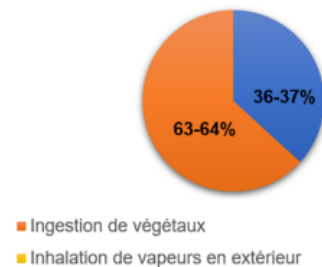
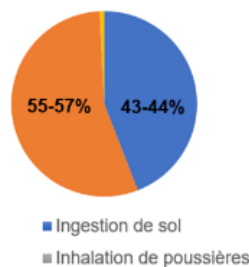
Niveaux de risques qui résultent majoritairement de l'exposition par

- ingestion de végétaux autoproduits
- ingestion de sol

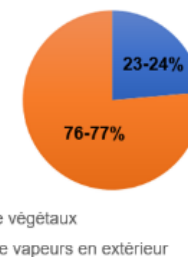
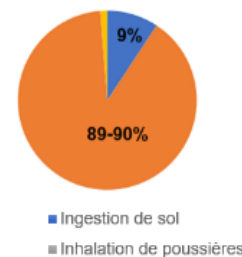
en raison de la présence de **plomb et d'arsenic**

- plomb (végétaux)
- arsenic (sol et végétaux)

Proportion de chaque voie d'exposition au QD total Proportion de chaque voie d'exposition à l'ERI total



Proportion de chaque voie d'exposition au QD total Proportion de chaque voie d'exposition à l'ERI total



Incertitudes / discussion

➤ Choix de la valeur de bioaccessibilité (G / GI)

Paramètre de risque	Calcul initial (sans prise en compte de la bioaccessibilité)	Prise en compte de la bioaccessibilité GI maximale	Prise en compte de la bioaccessibilité maximale (ie G)
Adulte (ingestion de sol uniquement)			
QD total	3,8	0,5	6,8
ERI total	5,4 ^{E-05}	2,9 ^{E-05}	4,4 ^{E-05}
Enfant (ingestion de sol uniquement)			
QD total	9	1,2	16
ERI total	2,5 ^{E-05}	1,3 ^{E-05}	2,1 ^{E-05}

- Utilisation du coefficient pour le plomb (coef = 2) dans le calcul de la DJE
- Groupe de travail en cours à l'INERIS sur : « Bioaccessibilité orale des métaux et métalloïdes dans les sols »
- Réponses, entre autres, qui devraient être apportées par le GT :
 - Révision du coefficient pour le plomb
 - Extrapolation des mesures de bioaccessibilité pour leur utilisation dans les études de risques
 - Granulométrie sur laquelle réaliser la mesure (tamisage)



www.rskgroup.com

RSK