

Voie d'exposition unique : Ingestion de sol		En gras : A remplir ou choisir										
<p>Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation</p>	<p>Type d'individus concernés.</p>	Cs	Qs	T	Ef	P	Tm	VTR				
		Concentration de la substance dans le sol	Quantité journalière de sol ingérée	Durée d'exposition théorique	Fréquence d'exposition (nombre de jour d'exposition théorique annuelle)	Poids corporel de l'individu	Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition	VTR (seuil d'effet)	Date de mise à jour	VTR (sans seuil d'effet)	Date de mise à jour	
		mg/kg	mg/j	année	jour	kg	année	-		(mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-	
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur haute)</b>	25795	100	6	365	15	70	3,6E-03	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		4,78E+01			
7439921	<b>plomb</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur haute)</b>	25795	50	30	365	70	70	3,6E-03	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		5,12E+00			
7439921	<b>plomb</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur haute)</b>	2727	100	6	365	15	70	3,6E-03	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		5,05E+00			
7439921	<b>plomb</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur haute)</b>	2727	50	30	365	70	70	3,6E-03	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		5,41E-01			
7439921	<b>plomb</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur moyenne)</b>	25795	20	6	365	15	70	3,6E-03	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		9,55E+00			
7439921	<b>plomb</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur moyenne)</b>	25795	10	30	365	70	70	3,6E-03	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		1,02E+00			
7439921	<b>plomb</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur moyenne)</b>	2727	20	6	365	15	70	3,6E-03	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		1,01E+00			
7439921	<b>plomb</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur moyenne)</b>	2727	10	30	365	70	70	3,6E-03	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		1,08E-01			
7439921	<b>plomb</b>								Excès de risque individuel :		-	

Voie d'exposition unique : Ingestion de sol		En gras : A remplir ou choisir										
Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation	Type d'individus concernés.	Cs	Qs	T	Ef	P	Tm	VTR				
		Concentration de la substance dans le sol	Quantité journalière de sol ingérée	Durée d'exposition théorique	Fréquence d'exposition (nombre de jour d'exposition théorique annuelle)	Poids corporel de l'individu	Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition	VTR (seuil d'effet)	Date de mise à jour	VTR (sans seuil d'effet)	Date de mise à jour	
		mg/kg	mg/j	année	jour	kg	année	-		(mg/kg/j) <sup>1</sup>	-	
Paramètres du scénario	<b>Résidant enfant (valeur haute)</b>	10721	100	6	365	15	70	3,0E-04	04/10/11	1,5E+00	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		2,38E+02			
7440382	<b>arsenic</b>								Excès de risque individuel :		9,2E-03	
Paramètres du scénario	<b>Résidant adulte (valeur haute)</b>	10721	50	30	365	70	70	3,0E-04	04/10/11	1,5E+00	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		2,55E+01			
7440382	<b>arsenic</b>								Excès de risque individuel :		4,9E-03	
Paramètres du scénario	<b>Résidant enfant (valeur haute)</b>	501	100	6	365	15	70	3,0E-04	04/10/11	1,5E+00	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		1,11E+01			
7440382	<b>arsenic</b>								Excès de risque individuel :		4,3E-04	
Paramètres du scénario	<b>Résidant adulte (valeur haute)</b>	501	50	30	365	70	70	3,0E-04	04/10/11	1,5E+00	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		1,19E+00			
7440382	<b>arsenic</b>								Excès de risque individuel :		2,3E-04	
Paramètres du scénario	<b>Résidant enfant (valeur moyenne)</b>	10721	20	6	365	15	70	3,0E-04	04/10/11	1,5E+00	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		4,76E+01			
7440382	<b>arsenic</b>								Excès de risque individuel :		1,8E-03	
Paramètres du scénario	<b>Résidant adulte (valeur moyenne)</b>	10721	10	30	365	70	70	3,0E-04	04/10/11	1,5E+00	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		5,11E+00			
7440382	<b>arsenic</b>								Excès de risque individuel :		9,8E-04	
Paramètres du scénario	<b>Résidant enfant (valeur moyenne)</b>	501	20	6	365	15	70	3,0E-04	04/10/11	1,5E+00	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		2,23E+00			
7440382	<b>arsenic</b>								Excès de risque individuel :		8,6E-05	
Paramètres du scénario	<b>Résidant adulte (valeur moyenne)</b>	501	10	30	365	70	70	3,0E-04	04/10/11	1,5E+00	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		2,39E-01			
7440382	<b>arsenic</b>								Excès de risque individuel :		4,6E-05	

Voie d'exposition unique : Ingestion de sol		En gras : A remplir ou choisir										
<p>Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation</p>	<p>Type d'individus concernés.</p>	Cs	Qs	T	Ef	P	Tm	VTR				
		Concentration de la substance dans le sol	Quantité journalière de sol ingérée	Durée d'exposition théorique	Fréquence d'exposition (nombre de jour d'exposition théorique annuelle)	Poids corporel de l'individu	Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition	VTR (seuil d'effet)	Date de mise à jour	VTR (sans seuil d'effet)	Date de mise à jour	
		mg/kg	mg/j	année	jour	kg	année	-		(mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-	
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur haute)</b>	93830	100	6	365	15	70	3,0E-01	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		2,09E+00			
7440666	<b>zinc</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur haute)</b>	93830	50	30	365	70	70	3,0E-01	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		2,23E-01			
7440666	<b>zinc</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur haute)</b>	983	100	6	365	15	70	3,0E-01	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		2,18E-02			
7440666	<b>zinc</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur haute)</b>	983	50	30	365	70	70	3,0E-01	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		2,34E-03			
7440666	<b>zinc</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur moyenne)</b>	93830	20	6	365	15	70	3,0E-01	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		4,17E-01			
7440666	<b>zinc</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur moyenne)</b>	93830	10	30	365	70	70	3,0E-01	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		4,47E-02			
7440666	<b>zinc</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur moyenne)</b>	983	20	6	365	15	70	3,0E-01	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		4,37E-03			
7440666	<b>zinc</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur moyenne)</b>	983	10	30	365	70	70	3,0E-01	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		4,68E-04			
7440666	<b>zinc</b>								Excès de risque individuel :		-	

Voie d'exposition unique : Ingestion de sol		En gras : A remplir ou choisir										
Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation	Type d'individus concernés.	Cs	Qs	T	Ef	P	Tm	VTR				
		Concentration de la substance dans le sol	Quantité journalière de sol ingérée	Durée d'exposition théorique	Fréquence d'exposition (nombre de jour d'exposition théorique annuelle)	Poids corporel de l'individu	Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition	VTR (seuil d'effet)	Date de mise à jour	VTR (sans seuil d'effet)	Date de mise à jour	
		mg/kg	mg/j	année	jour	kg	année	-		(mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-	
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur haute)</b>	1504	100	6	365	15	70	1,4E-01	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		7,16E-02			
7440508	<b>cuivre</b>	Excès de risque individuel :							-			
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur haute)</b>	1504	50	30	365	70	70	1,4E-01	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		7,67E-03			
7440508	<b>cuivre</b>	Excès de risque individuel :							-			
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur haute)</b>	88	100	6	365	15	70	1,4E-01	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		4,19E-03			
7440508	<b>cuivre</b>	Excès de risque individuel :							-			
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur haute)</b>	88	50	30	365	70	70	1,4E-01	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		4,49E-04			
7440508	<b>cuivre</b>	Excès de risque individuel :							-			
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur moyenne)</b>	1504	20	6	365	15	70	1,4E-01	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		1,43E-02			
7440508	<b>cuivre</b>	Excès de risque individuel :							-			
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur moyenne)</b>	1504	10	30	365	70	70	1,4E-01	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		1,53E-03			
7440508	<b>cuivre</b>	Excès de risque individuel :							-			
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur moyenne)</b>	88	20	6	365	15	70	1,4E-01	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		8,38E-04			
7440508	<b>cuivre</b>	Excès de risque individuel :							-			
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur moyenne)</b>	88	10	30	365	70	70	1,4E-01	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		8,98E-05			
7440508	<b>cuivre</b>	Excès de risque individuel :							-			

Voie d'exposition unique : Ingestion de sol		En gras : A remplir ou choisir										
Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation	Type d'individus concernés.	Cs	Qs	T	Ef	P	Tm	VTR				
		Concentration de la substance dans le sol	Quantité journalière de sol ingérée	Durée d'exposition théorique	Fréquence d'exposition (nombre de jour d'exposition théorique annuelle)	Poids corporel de l'individu	Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition	VTR (seuil d'effet)	Date de mise à jour	VTR (sans seuil d'effet)	Date de mise à jour	
		mg/kg	mg/j	année	jour	kg	année	-		(mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-	
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur haute)</b>	2700	100	6	365	15	70	2,0E-01	faire màj	-	faire màj	
Substance testée							Quotient de danger :		9,00E-02			
7440393	<b>barium</b>						Excès de risque individuel :		-			
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur haute)</b>	2700	50	30	365	70	70	2,0E-01	faire màj	-	faire màj	
Substance testée							Quotient de danger :		9,64E-03			
7440393	<b>barium</b>						Excès de risque individuel :		-			
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur haute)</b>	1191	100	6	365	15	70	2,0E-01	faire màj	-	faire màj	
Substance testée							Quotient de danger :		3,97E-02			
7440393	<b>barium</b>						Excès de risque individuel :		-			
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur haute)</b>	1191	50	30	365	70	70	2,0E-01	faire màj	-	faire màj	
Substance testée							Quotient de danger :		4,25E-03			
7440393	<b>barium</b>						Excès de risque individuel :		-			
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur moyenne)</b>	2700	20	6	365	15	70	2,0E-01	faire màj	-	faire màj	
Substance testée							Quotient de danger :		1,80E-02			
7440393	<b>barium</b>						Excès de risque individuel :		-			
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur moyenne)</b>	2700	10	30	365	70	70	2,0E-01	faire màj	-	faire màj	
Substance testée							Quotient de danger :		1,93E-03			
7440393	<b>barium</b>						Excès de risque individuel :		-			
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur moyenne)</b>	1191	20	6	365	15	70	2,0E-01	faire màj	-	faire màj	
Substance testée							Quotient de danger :		7,94E-03			
7440393	<b>barium</b>						Excès de risque individuel :		-			
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur moyenne)</b>	1191	10	30	365	70	70	2,0E-01	faire màj	-	faire màj	
Substance testée							Quotient de danger :		8,51E-04			
7440393	<b>barium</b>						Excès de risque individuel :		-			

Voie d'exposition unique : Ingestion de sol		En gras : A remplir ou choisir										
Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation	Type d'individus concernés.	Cs	Qs	T	Ef	P	Tm	VTR				
		Concentration de la substance dans le sol	Quantité journalière de sol ingérée	Durée d'exposition théorique	Fréquence d'exposition (nombre de jour d'exposition théorique annuelle)	Poids corporel de l'individu	Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition	VTR (seuil d'effet)	Date de mise à jour	VTR (sans seuil d'effet)	Date de mise à jour	
		mg/kg	mg/j	année	jour	kg	année	-		(mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-	
Paramètres du scénario	<b>Résidant enfant (valeur haute)</b>	18	100	6	365	15	70	5,0E-04	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		2,40E-01			
7440439	<b>cadmium</b>	Excès de risque individuel :									-	
Paramètres du scénario	<b>Résidant adulte (valeur haute)</b>	18	50	30	365	70	70	5,0E-04	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		2,57E-02			
7440439	<b>cadmium</b>	Excès de risque individuel :									-	
Paramètres du scénario	<b>Résidant enfant (valeur haute)</b>	4	100	6	365	15	70	5,0E-04	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		5,33E-02			
7440439	<b>cadmium</b>	Excès de risque individuel :									-	
Paramètres du scénario	<b>Résidant adulte (valeur haute)</b>	4	50	30	365	70	70	5,0E-04	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		5,71E-03			
7440439	<b>cadmium</b>	Excès de risque individuel :									-	
Paramètres du scénario	<b>Résidant enfant (valeur moyenne)</b>	18	20	6	365	15	70	5,0E-04	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		4,80E-02			
7440439	<b>cadmium</b>	Excès de risque individuel :									-	
Paramètres du scénario	<b>Résidant adulte (valeur moyenne)</b>	18	10	30	365	70	70	5,0E-04	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		5,14E-03			
7440439	<b>cadmium</b>	Excès de risque individuel :									-	
Paramètres du scénario	<b>Résidant enfant (valeur moyenne)</b>	4	20	6	365	15	70	5,0E-04	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		1,07E-02			
7440439	<b>cadmium</b>	Excès de risque individuel :									-	
Paramètres du scénario	<b>Résidant adulte (valeur moyenne)</b>	4	10	30	365	70	70	5,0E-04	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		1,14E-03			
7440439	<b>cadmium</b>	Excès de risque individuel :									-	

Voie d'exposition unique : Ingestion de sol		En gras : A remplir ou choisir										
Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation	Type d'individus concernés.	Cs	Qs	T	Ef	P	Tm	VTR				
		Concentration de la substance dans le sol	Quantité journalière de sol ingérée	Durée d'exposition théorique	Fréquence d'exposition (nombre de jour d'exposition théorique annuelle)	Poids corporel de l'individu	Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition	VTR (seuil d'effet)	Date de mise à jour	VTR (sans seuil d'effet)	Date de mise à jour	
		mg/kg	mg/j	année	jour	kg	année	-		(mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-	
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur haute)</b>	92	100	6	365	15	70	3,0E-03	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		2,04E-01			
18540299	<b>chrome VI</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur haute)</b>	92	50	30	365	70	70	3,0E-03	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		2,19E-02			
18540299	<b>chrome VI</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur haute)</b>	19	100	6	365	15	70	3,0E-03	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		4,22E-02			
18540299	<b>chrome VI</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur haute)</b>	19	50	30	365	70	70	3,0E-03	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		4,52E-03			
18540299	<b>chrome VI</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur moyenne)</b>	92	20	6	365	15	70	3,0E-03	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		4,09E-02			
18540299	<b>chrome VI</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur moyenne)</b>	92	10	30	365	70	70	3,0E-03	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		4,38E-03			
18540299	<b>chrome VI</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur moyenne)</b>	19	20	6	365	15	70	3,0E-03	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		8,44E-03			
18540299	<b>chrome VI</b>								Excès de risque individuel :		-	
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur moyenne)</b>	19	10	30	365	70	70	3,0E-03	04/10/11	-	04/10/11	
Substance testée							Quotient de danger :		9,05E-04			
18540299	<b>chrome VI</b>								Excès de risque individuel :		-	

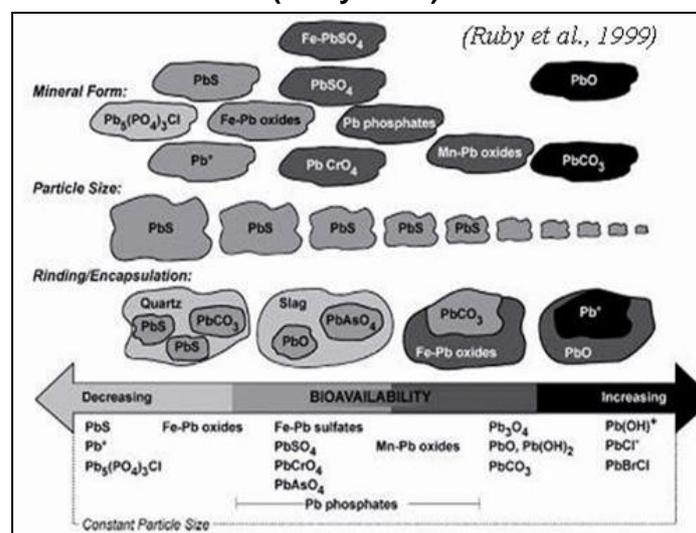
Voie d'exposition unique : Ingestion de sol		En gras : A remplir ou choisir										
Cette grille de calcul de l'IEM ne doit pas être utilisée pour fixer des objectifs de réhabilitation	Type d'individus concernés.	Cs	Qs	T	Ef	P	Tm	VTR				
		Concentration de la substance dans le sol	Quantité journalière de sol ingérée	Durée d'exposition théorique	Fréquence d'exposition (nombre de jour d'exposition théorique annuelle)	Poids corporel de l'individu	Période de temps sur laquelle est moyennée l'exposition	VTR (seuil d'effet)	Date de mise à jour	VTR (sans seuil d'effet)	Date de mise à jour	
		mg/kg	mg/j	année	jour	kg	année	-		(mg/kg/j) <sup>-1</sup>	-	
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur haute)</b>	99	100	6	365	15	70	4,0E-04	faire māj	-	faire māj	
Substance testée							Quotient de danger :		1,65E+00			
7440360	<b>antimoine As°</b>	Excès de risque individuel :							-			
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur haute)</b>	99	50	30	365	70	70	4,0E-04	faire māj	-	faire māj	
Substance testée							Quotient de danger :		1,77E-01			
7440360	<b>antimoine As°</b>	Excès de risque individuel :							-			
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur haute)</b>	48	100	6	365	15	70	4,0E-04	faire māj	-	faire māj	
Substance testée							Quotient de danger :		8,00E-01			
7440360	<b>antimoine As°</b>	Excès de risque individuel :							-			
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur haute)</b>	48	50	30	365	70	70	4,0E-04	faire māj	-	faire māj	
Substance testée							Quotient de danger :		8,57E-02			
7440360	<b>antimoine As°</b>	Excès de risque individuel :							-			
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur moyenne)</b>	99	20	6	365	15	70	4,0E-04	faire māj	-	faire māj	
Substance testée							Quotient de danger :		3,30E-01			
7440360	<b>antimoine As°</b>	Excès de risque individuel :							-			
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur moyenne)</b>	99	10	30	365	70	70	4,0E-04	faire māj	-	faire māj	
Substance testée							Quotient de danger :		3,54E-02			
7440360	<b>antimoine As°</b>	Excès de risque individuel :							-			
Paramètres du scénario	<b>Résident enfant (valeur moyenne)</b>	48	20	6	365	15	70	4,0E-04	faire māj	-	faire māj	
Substance testée							Quotient de danger :		1,60E-01			
7440360	<b>antimoine As°</b>	Excès de risque individuel :							-			
Paramètres du scénario	<b>Résident adulte (valeur moyenne)</b>	48	10	30	365	70	70	4,0E-04	faire māj	-	faire māj	
Substance testée							Quotient de danger :		1,71E-02			
7440360	<b>antimoine As°</b>	Excès de risque individuel :							-			

## Généralités sur la biodisponibilité du plomb

Le plomb peut être présent dans les sols sous forme de minéraux propres (minéraux où le plomb est un élément principal de la structure minérale) tels que, par exemple, le sulfure de plomb (PbS), le sulfate de plomb (PbSO<sub>4</sub>), ou le carbonate de plomb (PbCO<sub>3</sub>). Il peut être aussi présent en substitution d'autres éléments majeurs ou coprécipité ou sorbé à diverses phases minérales qui résultent de l'altération du sol, tels que les oxydes de fer et de manganèse, les sulfates de fer et des minéraux phosphatés.

Les facteurs qui influencent la biodisponibilité d'un élément comme le plomb sont nombreux, (voir figure ci-après, extrait de Ruby et al. 1999<sup>1</sup>), l'un des plus importants est la forme minéralogique sous laquelle s'exprime le plomb, car elle va contrôler sa plus ou moins grande propension à se mettre en solution, seule forme d'interaction avec les systèmes biologiques. Ainsi, par exemple, de nombreux travaux montrent que le plomb présent sous forme de carbonate (cérusite PbCO<sub>3</sub>) est plus biodisponible que sous d'autres formes tels que les sulfures. D'après certains auteurs, la biodisponibilité du plomb sur des sites à activité minière serait globalement plus faible que dans les zones urbaines, du fait d'une prédominance des formes insolubles ou peu mobiles de plomb de type sulfures et phosphates<sup>2,3</sup>.

**Figure 1 - Facteurs régissant la biodisponibilité du Pb : taille, spéciation et matrice (Ruby et al.).**



Les études de biodisponibilité sont peu nombreuses (réalisées in vivo, ces études sont complexes, longues et coûteuses). En dehors de ces études, la ou les formes sous lesquelles s'exprime le polluant dans le sol, connues pour être plus ou moins bioaccessibles, est établie via des tests chimiques plus simples tels que les extractions chimiques séquentielles<sup>4</sup> ou différents types de tests comme le test IVG –In Vitro Gastrointestinal- visant à reproduire les conditions physicochimiques de la digestion, on parle alors de test « in vitro », permettant d'appréhender la bioaccessibilité du polluant.

<sup>1</sup> Denys, S., Caboche, J. Tack, K. & Delalain, P. Bioaccessibility of lead in high carbonate soils. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng **42**, 1331-1339 (2007).

<sup>2</sup> Roussel, H. et al. Cd, Pb, and Zn oral bioaccessibility of urban soils contaminated in the past by atmospheric emissions from two lead and zinc smelters. Arch. Environ. Contam. Toxicol **58**, 845-954 (2010).

<sup>3</sup> Caboche, J. et al. Modelling Pb bioaccessibility in soils contaminated by mining and smelting activities. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng **45**, 1264-1274 (2010).

<sup>4</sup> Caboche, J. et al. Modelling Pb bioaccessibility in soils contaminated by mining and smelting activities. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng **45**, 1264-1274 (2010).

Une étude menée par l'US-EPA, 2007<sup>5</sup> a permis d'évaluer de façon semi-quantitative la biodisponibilité relative du plomb en fonction de la spéciation minéralogique des particules ingérées provenant de 20 échantillons de sols de contextes différents (fonderie, mines,...). Les études in vivo et in vitro étaient corrélées de façon significative. Les sulfures, sulfates, et certains oxydes de plomb sont les moins biodisponibles (< 25%) tandis que les carbonates et oxydes mixte de plomb-manganèse sont les plus biodisponibles (> 75%). Les scories, phosphates et oxydes de plomb (PbO) présentent une biodisponibilité intermédiaire (entre 25 et 75%). Ces résultats confortent ceux de Schroder et al.<sup>6</sup> qui avaient montré la bonne corrélation entre la bioaccessibilité déterminée par le test IVG et la biodisponibilité chez les jeunes cochons. Ses résultats montraient également (bien que non mis en perspective dans l'article) une influence des formes sous lesquelles s'exprimaient le plomb dans le sol ingéré avec une bioaccessibilité bien plus élevée lorsque les formes PbO et PbCO<sub>3</sub> sont prédominantes et beaucoup plus faible pour le sulfure de plomb.

**Figure 2 - Valeur de biodisponibilité en fonction de la spéciation pour le plomb, selon la classification semi-quantitative de l'US EPA**

Substances	Spéciations	Biodisponibilité relative
Plomb	Oxydes de PbFe (M)	< 25%
	PbSO <sub>4</sub>	
	PbS	
	Oxydes de Pb (M)	
	Sulfates de PbFe (M)	
	Scories	Entre 25% et 75%
	Phosphates de Pb	
	PbO	
	PbCO <sub>3</sub>	> 75%
	Oxydes de Pb Mn(M)	

Des travaux français récents, (Caboche et al. 2009, 2010) ont également mis en évidence que la bioaccessibilité du plomb était corrélée significativement à la distribution du plomb entre les différentes phases porteuses du sol (ex : oxyde de fer cristallins, sulfures)<sup>7</sup>, ainsi qu'à la teneur de ces formes au sein du sol<sup>8</sup>.

**Figure 3 - Coefficient de corrélation de Pearson entre la spéciation du plomb et sa bioaccessibilité dans les sols étudiés (les valeurs en gras indiquent une corrélation statistiquement significative)**

	<i>PbCO<sub>3</sub>/PbO</i>	<i>PbOClMgCa/PbCaClO</i>	<i>PbZnSFeO</i>	<i>PbFeO/PbFeMnO</i>	<i>PbPAIO</i>	<i>PbBaSO<sub>4</sub>/PbS</i>	<i>PbFeOSi/PbSiO</i>
Pb bioaccessible (%) in mining soils (n=15)	<b>0.91</b>	0.18	0.05	-0.28	-0.18	<b>-0.54</b>	<b>-0.55</b>
Pb bioaccessible (%) in smelting soils (n=10)	<b>0.95</b>	0.19	0.21	0.06	<b>-0.75</b>	<b>-0.87</b>	<b>-0.89</b>
Pb bioaccessible (%) all soils included (n=25)	<b>0.86</b>	0.19	0.04	-0.18	-0.11	<b>-0.61</b>	<b>-0.64</b>

Bold values represent correlation coefficient values that are significant at the 95% confidence level.

<sup>5</sup> US EPA. Estimation of relative bioavailability of lead in soil and soil-like materials using in vivo and in vitro methods. US EPA; 2007

<sup>6</sup> Schroder, L. *et al.* Validation of the in vitro gastrointestinal (IVG) method to estimate relative bioavailable lead in contaminated soils. *J. Environ. Qual* 33, 513-521 (2004)

<sup>7</sup> Caboche, J. Validation d'un test de mesure de bioaccessibilité. Application à 4 éléments traces métalliques dans les sols : As, Cd, Pb et Sb. (2009).

<sup>8</sup> Caboche, J. *et al.* Modelling Pb bioaccessibility in soils contaminated by mining and smelting activities. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 45, 1264-1274 (2010).

## Généralités sur la biodisponibilité de l'arsenic

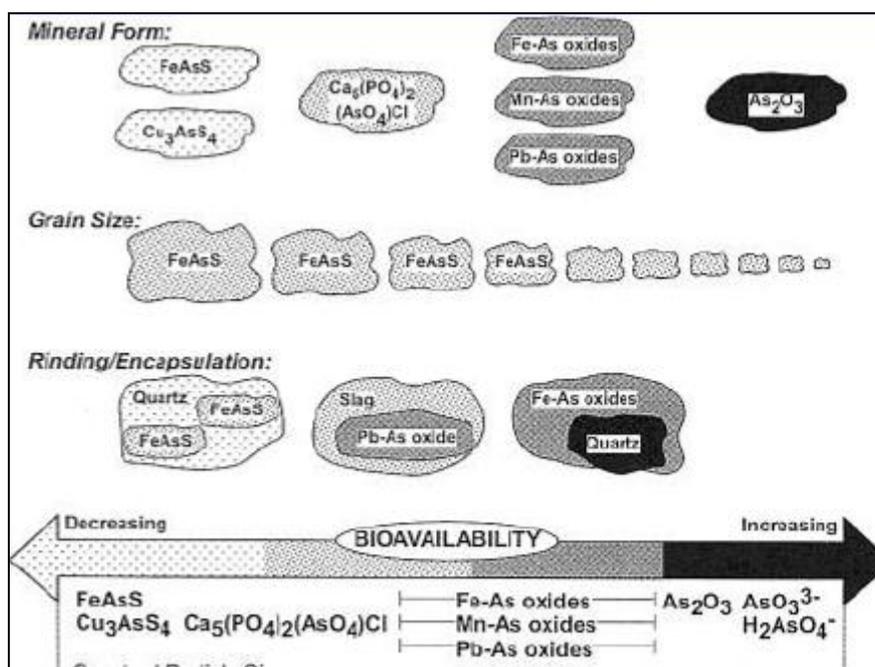
A la différence du plomb qui n'a qu'un seul degré d'oxydation, l'arsenic peut exister dans la nature sous différents états d'oxydation, dont -3, 0, +3 et +5 (au moins); L'arsenic réduit, de valence -3, n'est rencontré que dans les milieux très réducteurs où sa présence serait catalysée par l'activité micro biologique ; l'arsenic natif (0) est rare. Notons que l'arsenic de valence -1 ou -2 est invoqué dans les structures de nombreux minéraux primaires porteurs d'arsenic où l'arsenic se substitue à S. Les deux principaux états de valence dans l'environnement naturel sont les états +3 et +5 et l'arsenic forme deux familles d'espèces ioniques : les arsénates (+5) et les arsénites (+3).

Les principaux minéraux primaires porteurs d'arsenic sont des arséniures ou des sulfosels, (le terme de sulfures est communément employé pour ces deux familles), tels que l'arsénopyrite (ou mispickel  $\text{FeAsS}$ ), le réalgar ( $\text{AsS}$ ), l'orpiment ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ), la löllingite ( $\text{FeAs}_2$ ) etc. Notons que la pyrite ( $\text{FeS}_2$ ), sulfure de fer et minerai très commun, contient toujours un peu d'arsenic (il s'agit soit de substitution vraie S-As ou bien de micro-inclusions d'arsénopyrite, ou d'autres arséniures au sein de la pyrite). Les formes d'origine anthropique les plus courantes sont les produits phytosanitaires tels que les arsénates de plomb, de calcium, de sodium ou l'arséniate de cuivre chromaté-CCA-utilisé pour la préservation du bois, ainsi que l' $\text{As}_2\text{O}_3$  (arsenolite) fréquemment issue de la fonderie et de la sidérurgie, libéré aussi par les usines thermiques utilisant du charbon riche en sulfures à As.

Toutes ces formes minérales tendent, en milieu oxydant (circulation d'oxygène), comme c'est le cas pour les sols, à produire de l'arsenic sous la forme pentavalente, soluble qui peut alors circuler, être transférée dans les végétaux, mais qui a une forte tendance à être sorbée sur les oxyhydroxydes de fer et d'aluminium ou coprécipitée lors de la formation de ces oxyhydroxydes (sauf cas particuliers de sol pauvre en fer, ou riche en carbonates). Notons qu'il existe d'autres phases porteuses d'arsenic « majeures » dans les sols mais elles ont été décrites dans des contextes de teneurs en arsenic très élevées (au-delà du pourcent), non représentatifs en termes d'équilibres thermodynamiques et de précipitation de phases.

Parmi les facteurs régissant la biodisponibilité de l'arsenic (figure suivante), là encore, le rôle de la forme minérale porteuse de l'arsenic est très important.

**Figure 4 - Facteurs régissant la biodisponibilité de l'arsenic : taille, spéciation et matrice (Ruby et al.).**



Il existe néanmoins peu d'études mettant en avant avec précision ces formes minérales compte tenu de la difficulté à bien les définir (formes souvent peu ou mal cristallisées, teneur totale en arsenic généralement très faible pour espérer en voir une expression minérale par les outils de caractérisation minérale standards). Une étude menée par US-EPA<sup>9</sup> a tenté d'évaluer de façon semi-quantitative la biodisponibilité relative de l'arsenic en fonction de la spéciation minéralogique supposée des particules à partir de l'analyse de 20 échantillons de sols d'origine différentes (fonderies, mines...) dont les résultats sont présentés dans la figure suivante.

**Figure 5 - Valeur de biodisponibilité en fonction de la spéciation pour l'arsenic, selon la classification semi-quantitative de l'US EPA**

Substances	Spéciations	Biodisponibilité relative
Arsenic	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Sulfosels	< 30%
	Phosphates d'arsenic	Entre 30 et 70%
	Oxydes de fer, de Mn et de Pb	
	Sulfates de Fer et Zn	
	FeAsO	> 70%

On retiendra que les sulfures/sulfosels sont ceux qui présentent la biodisponibilité la plus faible de toutes les phases identifiées. La cinétique de la dissolution de ces derniers, très lente, limite la mise en solution pendant le parcours gastro-intestinal. Les phosphates, les oxydes de fer ou de manganèse où l'arsenic est associé (sorption probable sous forme d'arséniate), les sulfates de fer et de zinc présentent une biodisponibilité intermédiaire.

Meunier et al.<sup>10</sup> ont montré une diminution de la bioaccessibilité de l'arsenic lorsque des teneurs élevées en oxydes de fer sont observées dans les sols, du fait d'une probable formation d'oxydes de Fe-As.

Depuis la réalisation de l'IEM (Novembre 2011), l'USEPA a publié en Décembre 2012 « Recommendations for Default Value for Relative Bioavailability of Arsenic in Soil » : sur la base de 103 estimations de biodisponibilité, une valeur de biodisponibilité de l'arsenic égale à 60 % a été sélectionnée comme valeur par défaut. Cependant, cette valeur ne représente pas un échantillon statistique de sols pour toute formation géologique ou toute source de pollution en arsenic et ne tient pas forcément compte de tous les facteurs influençant la biodisponibilité décrits ci-dessus pour tous les sites. Par conséquent, des études spécifiques de biodisponibilité devront toujours être réalisées si elles sont jugées réalisables et utiles pour améliorer la caractérisation du risque sur site. USEPA recommande plutôt de collecter des données propres au site qu'avoir recours à cette valeur par défaut car l'utilisation de cette valeur par défaut pourrait sous-estimer ou surestimer le risque.

Dans l'ensemble, les études de biodisponibilité présentent différents contextes (sites miniers, sols pollués par des pesticides... sans préciser plus avant la nature des formes minérales), et les sites miniers sont ceux où l'arsenic présente la biodisponibilité la plus faible (à l'exception des rares cas des sols naturels riches en arsenic et en fer, où l'arsenic est encore moins biodisponible)<sup>11</sup>.

<sup>9</sup> US EPA. Estimation of relative bioavailability of arsenic in soil and soil-like material by in vivo and in vitro methods. 2005

<sup>10</sup> Meunier, L. Wragg, J., Koch, I. & Reimer, K. Method variables affecting the bioaccessibility of arsenic in soil. *J. of Env. Sc. & Hlth., Part A* 45, 517-526 (2010)

<sup>11</sup> Juhasz AL; Weber J; Smith E. - Predicting Arsenic Relative Bioavailability in Contaminated Soils Using Meta Analysis and Relative Bioavailability-Bioaccessibility Regression Models *Environ. Sci. Technol.*, 2011, 45 (24), pp10667-10683.

Par ailleurs, il peut aussi être noté que la VTR de l'arsenic a été construite sur la base d'une étude épidémiologique concernant une population exposée à de l'arsenic présent dans l'eau de boisson (pollution anthropique). Ici, l'exposition est liée au milieu sol. Les deux matrices sont donc bien distinctes.

Dans le cas de la VTR, l'arsenic est considéré comme hautement bioaccessible (puisque solubilisé dans l'eau). Au contraire, dans les sols, la bioaccessibilité de l'arsenic est vraisemblablement moindre. L'exploitation du minerai a généré une contamination anthropique à l'arsenic désormais assez ancienne. L'arsenic, notamment celui issu des déchets miniers a, par conséquent, vraisemblablement, pu être stabilisé chimiquement au sein des éléments du sol, le rendant moins accessible pour l'environnement et pour l'Homme<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> En effet, l'âge et l'origine d'une contamination influent sur la bioaccessibilité des polluants. Caboche J. Validation d'un test de mesure de bioaccessibilité. Application à 4 éléments traces métalliques dans les sols: As, Cd, Pb et Sb. 2009.