



■ SOLS ET TRANSFERTS

# Contamination des sols

## Transferts des sols vers les plantes

Anne Tremel-Schaub et Isabelle Feix



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie



# Sommaire

<b>Remerciements</b>	<b>1 ■</b>
<b>Résumé</b>	<b>3 ■</b>
<b>Introduction</b>	<b>5 ■</b>

## **1. Rappels sur les éléments-traces**

<b>1.1. Terminologie</b>	<b>9 ■</b>
■ Définition des métaux et métalloïdes	<b>9 ■</b>
■ Définition des éléments-traces	<b>10 ■</b>
■ Définition des métaux lourds, micro-polluants métalliques, oligo-éléments, contaminants stricts	<b>10 ■</b>
<b>1.2. Cycles bio-géochimiques des éléments-traces</b>	<b>12 ■</b>
■ Généralités sur les cycles bio-géochimiques des éléments-traces	<b>12 ■</b>
■ Influence des activités humaines sur les cycles bio-géochimiques des éléments-traces	<b>13 ■</b>
<b>1.3. Exposition des êtres vivants aux éléments-traces</b>	<b>13 ■</b>
■ Notions de dose et de temps d'exposition	<b>13 ■</b>
■ Exposition de l'homme aux éléments-traces	<b>14 ■</b>

## **2. Généralités sur les transferts sol-plante des éléments-traces**

<b>2.1. Pénétration des éléments-traces par les parties aériennes</b>	<b>18 ■</b>
<b>2.2. Prélèvement des éléments-traces par les racines</b>	<b>20 ■</b>
■ Mécanismes de prélèvement des éléments-traces	<b>21 ■</b>
■ Facteurs contrôlant le prélèvement des éléments-traces	<b>29 ■</b>

<b>2.3. Devenir des éléments-traces dans la plante</b>	<b>46</b>
■ Mécanismes de transport des éléments-traces au sein du végétal	47
■ Concentrations en éléments-traces dans les différents organes de la plante	49
■ Les excréations des éléments-traces par la plante	53
■ Formes chimiques des éléments-traces dans la plante et leurs implications dans la toxicité vis-à-vis des animaux et de l'homme	54
<b>2.4. Particularités des éléments</b>	<b>57</b>
■ As	57
■ Cd	58
■ Co	58
■ Cr	59
■ Cu	59
■ Hg	60
■ Mo	61
■ Ni	61
■ Pb	62
■ Se	62
■ Tl	63
■ Zn	64

### **3. Préviation du transfert sol-plante des éléments-traces**

65

<b>3.1. Généralités</b>	<b>65</b>
■ Modèles	67
■ Tests et analyses	70
<b>3.2. Utilisation dans les réglementations et guides de bonnes pratiques</b>	<b>81</b>
■ Mise en place d'une réglementation visant à protéger la qualité d'un sol	81
■ Un premier modèle : le coefficient de répartition plante-sol	85
■ Un deuxième modèle : l'utilisation d'extractions chimiques sélectives et de modèles régressifs	97
■ Un troisième modèle : le flux exporté par la plante, les bilans entrées-sorties	102

### **4. Aliments d'origine végétale et éléments-traces**

105

<b>4.1. Estimation de l'exposition journalière de l'homme aux éléments-traces via les aliments d'origine végétale en France</b>	<b>105</b>
■ Teneurs en éléments-traces dans les végétaux en France	105
■ Teneurs en éléments-traces dans les aliments d'origine végétale en France	106
■ La notion de dose : carences et excès	117

■ Méthodes d'estimation de l'exposition aux éléments-traces par l'alimentation	118 ■
■ Exposition aux éléments-traces par l'alimentation en France	121 ■
<b>4.2. Exposition des animaux d'élevage aux éléments-traces par l'alimentation d'origine végétale en France</b>	128 ■
■ Teneurs des fourrages et des aliments pour le bétail	128 ■
■ La notion de dose : carences et excès	129 ■
■ Exposition aux éléments-traces des animaux d'élevage	129 ■
<b>4.3. Les seuils pour l'alimentation végétale dans les réglementations et guides de bonnes pratiques nationaux et internationaux</b>	131 ■
■ Les seuils dans l'alimentation humaine	131 ■
■ Les seuils dans l'alimentation animale	133 ■
<b>5. Conclusion</b>	
<b>5.1. Complexité des mécanismes de transfert des éléments-traces du sol vers la plante et nombre élevé de facteurs les contrôlant</b>	135 ■
<b>5.2. Difficultés pour prévoir le transfert des éléments-traces du sol vers le végétal</b>	136 ■
<b>5.3. Quelques méthodes (quasi) opérationnelles pour évaluer la probabilité de transfert</b>	136 ■
■ Coefficient de répartition plante/sol	136 ■
■ Autres modèles régressifs	137 ■
■ Extraction chimique sélective en séquentielle	137 ■
■ Tests	138 ■
■ Essais in situ	138 ■
<b>5.4. Modifications des concentrations en éléments-traces lors de la transformation du produit agricole récolté en aliment directement consommable</b>	139 ■
<b>5.5. Rôle des quantités d'aliments consommées</b>	139 ■
<b>5.6. Les maillons d'une chaîne complexe</b>	140 ■
<b>Références bibliographiques</b>	141 ■
<b>Annexe 1</b> - Fiches bibliographiques relatives à des essais de plein champ	157 ■
<b>Annexe 2</b> - Teneurs naturelles dans les plantes cultivées et dans les aliments à base de végétaux	335 ■
<b>Annexe 3</b> - Seuils nationaux et internationaux dans les aliments d'origine végétale	373 ■
<b>Annexe 4</b> - Effets toxiques des éléments-traces en excès sur l'homme	389 ■
<b>Annexe 5</b> - Lexique de définitions	403 ■
<b>Annexe 6</b> - Noms latins des plantes cultivées à vocation alimentaire	407 ■