

L'environnement pratique



## MANUEL

Sols pollués

Évaluation de la menace  
et mesures de protection



Office fédéral de  
l'environnement,  
des forêts et  
du paysage  
OFEFP



**MANUEL**

**Sols pollués**

**Évaluation de la menace  
et mesures de protection**

**Publié par l'Office fédéral  
de l'environnement, des forêts  
et du paysage OFEFP  
Berne, 2005**

### **Valeur juridique de cette publication**

*La présente publication est une aide à l'exécution élaborée par l'OFEFP en tant qu'autorité de surveillance. Destinée en premier lieu aux autorités d'exécution, elle concrétise des notions juridiques indéterminées provenant de lois et d'ordonnances et favorise ainsi une application uniforme de la législation. Si les autorités d'exécution en tiennent compte, elles peuvent partir du principe que leurs décisions seront conformes au droit fédéral. D'autres solutions sont aussi licites dans la mesure où elles sont conformes au droit en vigueur. Les aides à l'exécution de l'OFEFP (appelées aussi directives, instructions, recommandations, manuels, aides pratiques) paraissent dans la collection «L'environnement pratique».*

### **Editeur**

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP)  
*L'OFEFP est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC)*

### **Auteurs**

Reiner A. Mailänder,  
Geotechnisches Institut AG, Zürich  
Markus Hämmann,  
Geotechnisches Institut AG, Zürich

### **Groupe d'experts**

Jürg Zihler, OFEFP  
Johannes Dettwiler, OFEFP  
Franz Borer, Amt für Umwelt, Solothurn  
Anton Candinas, Office fédéral de l'agriculture  
Frédi Celardin, École d'Ingénieurs de Lullier, Jussy  
André Desales, Agroscope FAL Reckenholz  
Ursin Ginsig, Amt für Umwelt, Frauenfeld  
Rolf Gsponer, Amt für Landschaft und Natur, Zürich  
Armin Keller, Agroscope FAL Reckenholz  
Elmar Kuhn, Kantonaales Labor Aargau  
Daniel W. Müller, Amt für Umwelt, Frauenfeld  
Guido Schmid, Amt für Umweltschutz, St. Gallen  
Rainer Schulin, Institut für Terrestrische Ökologie, ETH Zürich  
Urs Ziegler, OFEFP

### **Référence**

MAILÄNDER R.A., HÄMMANN M., 2005 : *Manuel – Sols pollués – Évaluation de la menace et mesures de protection*. L'environnement pratique. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 105 p.

### **Conseiller OFEFP**

Jürg Zihler, Chef Sektion Boden  
Johannes Dettwiler, Sektion Boden  
Christoph Zäch, Chef Abteilung Recht

### **Traduction**

Services linguistiques de l'OFEFP

### **Graphisme, mise en page**

Ursula Nöthiger-Koch, Uerkheim

### **Photo couverture**

OFEFP/AURA und OFEFP/Docuphot

### **Commande**

OFEFP  
Documentation  
CH-3003 Berne  
Fax +41 (0) 31 324 02 16  
docu@buwal.admin.ch  
<http://www.environnement-suisse.ch/publications>

Numéro de commande :

VU-4817-F

Cette publication est également disponible en allemand, italien et anglais

(VU-4817-D/VU-4817-I/VU-4817-E).

© OFEFP 2005

## Table des matières

<b>Abstracts</b>	<b>5</b>	4.2	Évaluation détaillée de la menace pour les cultures alimentaires	29	
<b>Avant-propos</b>	<b>7</b>	4.2.1	<i>Analyse de la pollution</i>	29	
<b>1 Introduction</b>	<b>9</b>	4.2.2	<i>Évaluation de la pollution</i>	30	
1.1	Buts	9			
1.2	Contenu	9			
<b>2 Bases légales</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>Évaluation de la menace pour les cultures fourragères</b>	<b>33</b>	
2.1	Champ d'application du manuel	10	5.1	Système expert « cultures fourragères »	33
2.2	Définitions	10	5.1.1	<i>Bases</i>	33
2.3	Valeurs indicatives et mesures	11	5.1.2	<i>Analyse de la pollution</i>	35
2.4	Seuils d'investigation et mesures	12	5.1.3	<i>Évaluation de la pollution</i>	40
2.5	Valeurs d'assainissement et mesures	12	5.2	Évaluation détaillée de la menace dans les cultures fourragères	40
2.6	Compétence exécutive	13	5.2.1	<i>Analyse de la pollution</i>	40
			5.2.2	<i>Évaluation de la pollution</i>	41
<b>3 Procédure</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>Évaluation de la menace en cas d'utilisation du sol avec risque par ingestion</b>	<b>43</b>	
3.1	Procédure en cas de restriction volontaire de l'utilisation du sol	15	6.1	Système expert « utilisation du sol avec risque par ingestion »	44
3.2	Constat de l'utilisation du sol	15	6.1.1	<i>Bases</i>	44
3.3	Importance du polluant	15	6.1.2	<i>Analyse de la pollution</i>	44
3.3.1	<i>Importance du polluant dans les cultures alimentaires</i>	16	6.1.3	<i>Évaluation de la pollution</i>	46
3.3.2	<i>Importance du polluant dans les cultures fourragères</i>	16	6.2	Évaluation détaillée de la menace en cas d'utilisation avec risque par ingestion	47
3.3.3	<i>Importance du polluant en cas d'utilisation du sol présentant un risque par ingestion</i>	17			
3.4	Délimitation spatiale et analyse des sols pollués	18	<b>7</b>	<b>Procédure en l'absence de valeurs réglementaires</b>	<b>48</b>
3.5	Évaluation de la menace	19	<b>8</b>	<b>Mesures</b>	<b>49</b>
3.5.1	<i>Procédure générale</i>	19	8.1	Principes	49
3.5.2	<i>Évaluation à l'aide de systèmes experts</i>	19	8.1.1	<i>Type et sévérité des mesures</i>	49
3.5.3	<i>Évaluation à l'aide d'investigations plus détaillées</i>	20	8.1.2	<i>Paramètres</i>	50
3.6	Détermination des mesures à prendre	21	8.1.3	<i>Procédure pour définir les mesures</i>	51
3.7	Résultat – Incertitude	21	8.2	Différentes mesures pour diminuer ou écarter les risques	51
3.7.1	<i>Remarques préliminaires</i>	21	8.2.1	<i>Mesures dans les cultures alimentaires et fourragères</i>	51
3.7.2	<i>Analyse de la pollution</i>	22	8.2.2	<i>Mesures concernant l'utilisation avec risque par ingestion</i>	52
3.7.3	<i>Évaluation de la pollution</i>	23	8.2.3	<i>Mesures complémentaires pour toutes utilisations</i>	52
<b>4 Évaluation de la menace pour les cultures alimentaires</b>	<b>24</b>	8.3	Surveillance	52	
4.1	Système expert « cultures alimentaires »	24	8.4	Mesures en cas de pollution en profondeur	53
4.1.1	<i>Bases</i>	24			
4.1.2	<i>Analyse de la pollution</i>	25			
4.1.3	<i>Évaluation de la pollution</i>	28			

8.5	Responsabilités et délais	54
8.5.1	<i>Compétence et procédure</i>	54
8.5.2	<i>Destinataires des mesures</i>	54
8.5.3	<i>Imputation des coûts</i>	54
8.5.4	<i>Obligation de dédommager</i>	55
8.5.5	<i>Délais</i>	55

---

<b>Annexes</b>		<b>57</b>
A1	Exemples d'évaluation de la menace	58
A2	Polluants	65
A3	Cultures témoins	72
A4	Évaluation de la pollution des plantes fourragères au moyen de valeurs seuils	73
A5	Prise en compte des incertitudes de mesure lors de la comparaison des résultats mesurés avec les valeurs maximales	75
A6	Comparaison des degrés de couverture végétale	77
A7	Formulaire d'enquête pour des utilisations du sol avec risque par ingestion	78
A8	Valeurs d'appréciation selon Eikmann & Kloke (1993)	80
A9	Explications concernant l'étalonnage du système expert	81
A10	Tableaux pour valeurs indicatives, seuils d'investigation et valeurs d'assainissement (cf. annexes 1 et 2 OSol; SR 814.12)	90

---

<b>Index</b>		<b>92</b>
1	Liste des abréviations	92
2	Liste des figures	94
3	Liste des tableaux	95
4	Bibliographie	98

# Abstracts

E

Keywords:  
Soil protection,  
risk assessment,  
health risks,  
trigger values,  
soil pollutants

The Manual provides a methodology for assessing the risk to humans, animals or plants (subjects of protection) resulting from levels of soil pollution lying between the trigger and clean-up values. A distinction is made between three categories of land use: (a) cultivation of plants for human consumption; (b) cultivation of plants for animal consumption, and (c) uses with possible direct soil ingestion. The procedure is divided into two steps: impact analysis (pollutant transfer to subject of protection), and impact evaluation (assignment of a risk category). In general, a so-called expert system is employed, permitting simplified risk assessment and impact evaluation based on a point scale. In special cases in which the expert system does not provide adequate assessment, more detailed methods are presented. The Manual also covers risk reduction measures.

D

Stichwörter:  
Bodenschutz,  
Gefährdungs-  
abschätzung,  
Gesundheits-  
gefährdung,  
Prüfwerte,  
Bodenschadstoffe

Für Schadstoffbelastungen des Bodens zwischen Prüf- und Sanierungswerten zeigt dieses Handbuch auf, wie eine mögliche Gefährdung für Menschen, Tiere oder Pflanzen (Schutzgüter) abzuschätzen ist. Dabei wird unterschieden zwischen den drei Nutzungsarten Nahrungspflanzenanbau, Futterpflanzenanbau und Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme. Das Vorgehen umfasst immer zwei Schritte, nämlich die Belastungsanalyse (Transfer von Schadstoffen zu den Schutzgütern Mensch, Tiere oder Pflanzen) und die Belastungsbewertung (Zuweisung der Gefährdungskategorie). Im Regelfall kann für Belastungsanalyse und -bewertung jeweils ein so genanntes Expertensystem verwendet werden, das eine vereinfachte Gefährdungsabschätzung mit Hilfe eines Punktesystems erlaubt. Für Einzelfälle, in denen die Beurteilung durch das Expertensystem nicht ausreicht, werden Möglichkeiten für eine detailliertere Gefährdungsabschätzung dargestellt. Das Handbuch beschreibt zudem Massnahmen zur Gefährdungsabwehr.

F

Mots-clés:  
protection du sol,  
évaluation de la  
menace,  
risques pour le santé,  
seuils d'investigation,  
polluants du sol

Le présent manuel montre comment évaluer une menace potentielle pour l'homme, les animaux ou les plantes (biens à protéger) lorsque des sols sont pollués à des teneurs comprises entre seuil d'investigation et valeur d'assainissement. Trois utilisations du sol sont considérées: cultures pour l'alimentation humaine (cultures alimentaires), cultures pour l'alimentation animale (cultures fourragères) et utilisation avec risque par ingestion. La procédure comporte toujours deux étapes, c'est à savoir l'analyse des atteintes au sol (transfert du polluant au bien à protéger – homme, animaux ou plantes) et l'évaluation du degré de pollution (attribution à une catégorie de risque). En règle générale, un système expert est utilisé pour l'analyse et l'évaluation, système qui permet une estimation simplifiée de la menace à l'aide d'indices. Pour les cas particuliers pour lesquels le système expert n'est pas suffisant, le manuel présente des approches permettant une évaluation plus détaillée. Il décrit enfin les mesures à prendre pour éliminer la menace.

I

Parole chiave :  
protezione del suolo,  
valutazione del  
pericolo,  
pericolo per la salute,  
valori di guardia,  
sostanze nocive nel  
suolo

Il manuale illustra come valutare i potenziali pericoli per l'uomo, la flora o la fauna (beni da proteggere) quando il tenore delle sostanze nocive nel suolo si situa tra i valori di guardia e quelli di risanamento. Si distinguono tre forme di utilizzazione del suolo: colture alimentari, colture foraggere e utilizzazioni con possibile assunzione diretta di terra. La valutazione comprende sempre due fasi: l'analisi dell'inquinamento (trasferimento delle sostanze nocive al bene da proteggere – uomo, animali o piante) e la valutazione dell'inquinamento (attribuzione a una categoria di rischio). Di norma, dette fasi possono essere eseguite applicando un cosiddetto sistema esperto, il quale permette di effettuare una stima semplificata del potenziale rischio con l'aiuto di un modello a punti. In casi particolari per i quali l'applicazione del sistema esperto è insufficiente, il manuale offre delle soluzioni che permettono di valutare in maniera dettagliata il potenziale rischio. Infine, vengono descritte delle misure idonee a prevenire il pericolo.



# Avant-propos

Les sols fortement pollués peuvent constituer une menace pour l'environnement et pour la santé de l'homme. C'est le cas en particulier lorsqu'ils sont utilisés comme terrains de jeux pour les enfants, comme pâturages ou encore lorsque les aliments ou fourrages produits sur ces sols sont consommés. C'est pourquoi les cantons sont tenus, en vertu du droit sur la protection des sols – avant tout en vertu de *l'ordonnance de 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol)* –, de clarifier si la pollution du sol représente une menace concrète ou non. Dans l'affirmative, ils doivent restreindre voire interdire l'utilisation des terres en question.

Ce manuel présente différentes manières de procéder à l'évaluation de la menace. Un groupe réunissant de nombreux experts a assuré le suivi du projet. Le manuel se fonde par ailleurs sur des connaissances spécialisées acquises en Suisse et à l'étranger ainsi que sur de nombreuses données provenant d'analyses chimiques du sol. Nos remerciements vont en particulier à l'Office allemand de l'environnement (Dessau) ainsi qu'aux Länder allemands qui nous ont fourni de précieux documents permettant de donner une assise scientifique aux méthodes d'évaluation utilisées.

La santé de l'homme, des animaux et des plantes est un bien qui doit être protégé à tout prix. Le présent manuel y contribue. Il repose sur les connaissances et expériences actuelles. Les applications futures permettront d'élargir ces connaissances et expériences et d'affiner ainsi la mise en œuvre du manuel dans le domaine de la protection des sols contre la pollution chimique.

Le présent ouvrage s'est révélé utile pour évaluer la menace que représentaient des sols pollués à proximité d'une entreprise transformant du métal. Il a donc fait ses preuves, et nous le mettons maintenant à la disposition de tous les milieux intéressés. Je tiens à remercier très sincèrement toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation du présent ouvrage.

Office fédéral de l'environnement,  
des forêts et du paysage

*Georg Karlaganis*  
*Chef de la division Substances,*  
*sol, biotechnologie*



# 1 Introduction

## 1.1 Buts

Les sols pollués peuvent représenter une menace pour la santé de l'homme, des animaux ou des plantes. Pour évaluer cette menace, des seuils d'investigation et des valeurs d'assainissement sont spécifiées dans *l'ordonnance du 1<sup>er</sup> juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol; RS 814.12)*. Selon l'état de la science ou de l'expérience, l'homme, les animaux ou les plantes peuvent être concrètement menacés lorsque les seuils d'investigation sont dépassés. Dans ce cas, les autorités d'exécution doivent clarifier si la pollution du sol représente une menace concrète ou non. En cas de réponse affirmative, l'utilisation du sol en question est restreinte de manière à ce que la menace soit écartée. Si les seuils d'assainissement sont dépassés, l'utilisation du sol est interdite ou le terrain assaini.

Le présent manuel décrit la marche à suivre pour l'évaluation d'un sol pollué:

- ce qui doit être examiné pour déterminer la menace;
- comment chaque cas est évalué pour décider s'il y a menace concrète;
- quelles mesures sont à mettre en œuvre lorsqu'il y a menace concrète.

Le présent manuel sert à harmoniser la mise en œuvre de l'OSol susmentionnée et constitue une contribution à la sécurité juridique. Il est destiné aux spécialistes des autorités chargées de l'exécution des mesures ainsi qu'aux ingénieurs et bureaux d'études environnementales.

## 1.2 Contenu

Le manuel est structuré comme suit:

- Le **chapitre 2** concerne les bases légales et les rapports avec l'ordonnance sur les sites contaminés.
- Le **chapitre 3** explique la procédure générale à suivre pour l'évaluation de la menace.
- Les **chapitres 4 à 6** montrent comment l'évaluation de la menace est réalisée pour les cultures alimentaires, pour les cultures fourragères et pour les usages du sol avec risque par ingestion.
- Le **chapitre 7** décrit la marche à suivre en l'absence de valeurs réglementées.
- Le **chapitre 8** décrit les mesures à mettre en œuvre pour éliminer le risque.
- Les annexes contiennent des données et des aides supplémentaires pour l'évaluation de la menace. Les **annexes 1 et 2** sont particulièrement utiles: les exemples de **l'annexe 1** précisent la démarche suivie lors d'une évaluation de la menace. **L'annexe 2** contient des données de base concernant la menace pour l'homme, les animaux et les plantes par les substances polluantes réglementées par l'OSol.
- Des **tableaux préétablis** simplifiant l'évaluation de la menace viennent compléter le manuel.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> cf. format Excel: [http://www.environnement-suisse.ch/thèmes/sol/mise en œuvre de l'OSol/manuel évaluation de la menace](http://www.environnement-suisse.ch/thèmes/sol/mise%20en%20œuvre%20de%20l'OSol/manuel%20évaluation%20de%20la%20menace).

## 2 Bases légales

### 2.1 Champ d'application du manuel

Ce manuel concerne tous les sols tels que définis à l'art. 7, al. 4<sup>bis</sup>, de la *loi fédérale du 7 octobre 1983 sur la protection de l'environnement (LPE; RS 814.01)*. Selon l'OSol, qui découle de la LPE, il s'agit d'analyser et d'évaluer des sols où l'on **constate, ou suppose à l'appui d'indices solides, un dépassement du seuil d'investigation**. Il y a alors atteintes au sol qui peuvent menacer concrètement l'homme, les animaux ou les plantes. Si la valeur d'assainissement est dépassée pour une exploitation, il y a forcément une menace (cf. chap. 2.4.) et il n'est donc plus nécessaire de faire une évaluation.

#### Liens avec l'OSites

Selon l'art. 2 de l'*ordonnance du 26 août 1998 sur l'assainissement des sites pollués (ordonnance sur les sites contaminés; OSites; RS 814.680)*, on entend par sites pollués les emplacements d'une étendue limitée pollués par des déchets. Ils comprennent les sites de stockage définitif, les aires d'exploitation et les lieux d'accident. En cas de sites contaminés, la législation sur la protection du sol (art. 34 et 35 LPE, précisés dans l'OSol) et le contenu de ce manuel s'appliquent seulement dans le cas suivant (art. 12 et 16, let. c, OSites) pour évaluer le besoin d'assainissement et déterminer les mesures à prendre :

- les atteintes portées à l'homme, aux animaux et aux plantes par des sols.

La procédure est donc régie par l'OSites.

En conséquence, ce manuel n'est pas valable pour l'analyse et l'évaluation d'autres catégories d'atteintes dues à des sites pollués au sens de l'OSites (atteintes aux eaux de surface et aux eaux souterraines, à l'air ambiant et à l'atmosphère). Dans ces cas, la procédure est régie seulement par l'OSites et par les directives qui les précisent.

Ce qui est décisif pour cette différenciation OSites / OSol, ce n'est pas l'emplacement du sol concerné, mais le bien à protéger en fonction duquel ce sol est examiné, à savoir les eaux souterraines, les eaux de surface et l'air (cf. OSites), ainsi donc protection contre les atteintes portées au sol signifie garantir la fertilité du sol à long terme dans la perspective de prévenir les atteintes portées à l'homme, aux animaux ou aux plantes par des sols (cf. OSols).

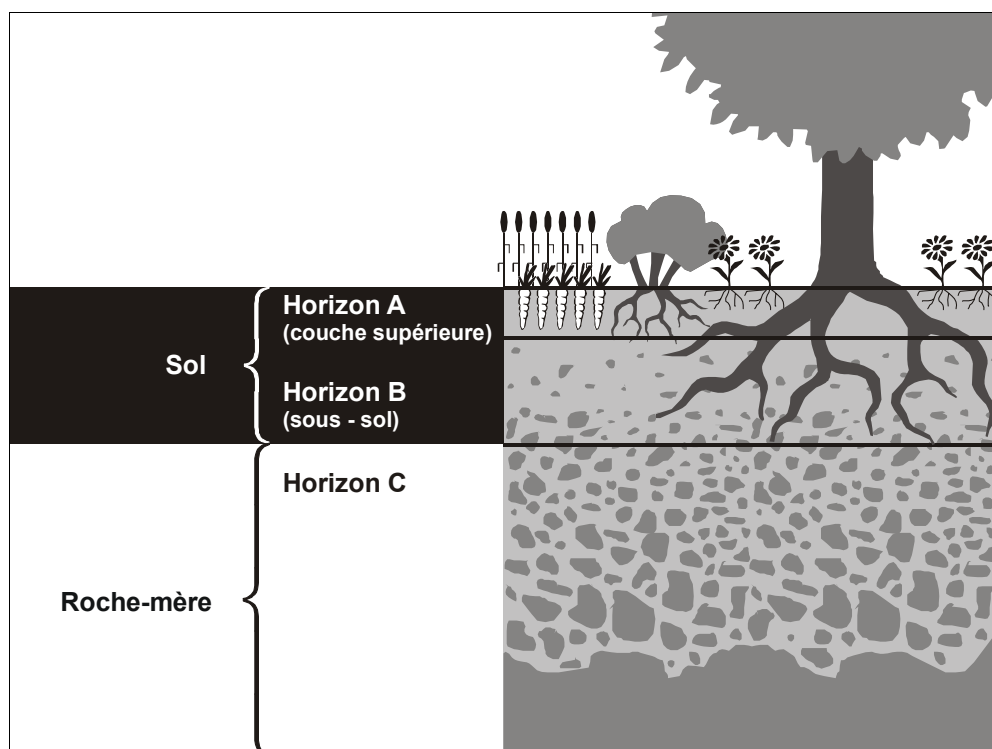
### 2.2 Définitions

Par sol, on entend **la couche de terre meuble de l'écorce terrestre où peuvent pousser les plantes** (définition du sol dans la LPE; cf. fig. 1). La pollution chimique du sol est une atteinte portée au sol par des substances naturelles ou artificielles (polluants). Ces atteintes sont évaluées d'après l'OSol sur la base de valeurs indicatives, de seuils d'investigation et de valeurs d'assainissement.

## 2.3 Valeurs indicatives et mesures

Les valeurs indicatives indiquent le niveau de gravité des atteintes au-delà duquel, selon l'état de la science ou l'expérience, la fertilité des sols n'est plus garantie à long terme (cf. art. 35 al. 2 LPE). S'il est établi ou à craindre que dans certains secteurs les atteintes menacent la fertilité du sol, les cantons mettent en place une surveillance des sols. En outre, les cantons enquêtent sur les causes possibles de pollution et étudient les mesures propres à empêcher l'extension de la pollution (suppression à la source; cf. art. 8 OSol).

Figure 1: Le manuel a pour thème le domaine désigné par « sol ».



**Couche supérieure du sol = horizon A** (couramment appelé « humus »):

Couche minérale meuble et friable, enrichie de matières organiques (humus), riche en racines et en organismes vivants, généralement de couleur brun foncé.

**Sous-sol = horizon B :**

Couche plus souvent moins friable, moins vivante et moins riche en racines, ne contenant que très peu d'humus, généralement de couleur plus claire (rouille jusqu'à brun clair), d'une densité plus élevée que la couche supérieure (horizon A).

**Roche-mère = horizon C :**

Couche pas ou peu friable, contenant peu d'organismes vivants, peu de racines, matériau de base sans matière organique. N'est plus considérée comme sol.

## 2.4 Seuils d'investigation et mesures

Les seuils d'investigation indiquent, pour une utilisation donnée, le niveau d'atteinte à partir duquel, selon l'état des connaissances, la santé de l'homme, des animaux et des plantes peut être menacée (cf. art. 2, al. 5, OSol). Ils servent à évaluer s'il est nécessaire de restreindre l'utilisation d'un sol. Une menace est toujours concrète si, tôt ou tard, selon le cours normal des choses, elle devient une réalité, c'est-à-dire s'il apparaît un dommage pour la santé et pour l'environnement.

Si, dans une région donnée, un seuil d'investigation est dépassé, les cantons examinent si la santé de l'homme, des animaux ou des plantes risque d'être menacée. Si tel est le cas, les cantons arrêtent les restrictions d'utilisation nécessaires à l'élimination du risque (cf. art. 9 OSol). Lorsque les atteintes au sol dépassent les seuils d'investigation, il y a également dépassement significatif des valeurs indicatives. En conséquence, les mesures décrites à l'art. 8 OSol sont prises, c'est-à-dire déterminer les causes et définir les mesures à prendre pour éviter une aggravation de la pollution.

Les seuils d'investigation existent pour les utilisations suivantes: «cultures alimentaires», «cultures fourragères» et «risque par ingestion» (cf. annexe 1, chiffre 12, OSol). Si les seuils d'investigation manquent pour certains types d'utilisation, il est décidé de cas en cas si les atteintes au sol menacent concrètement la santé de l'homme, des animaux et des plantes (cf. art. 5, al. 2, OSol).

## 2.5 Valeurs d'assainissement et mesures

Les valeurs d'assainissement indiquent le niveau de gravité des atteintes au-delà duquel, selon l'état de la science ou l'expérience, certaines exploitations mettent forcément en péril l'homme, les animaux ou les plantes (cf. art. 35, al. 3, LEP).

Si, dans une région donnée, une valeur d'assainissement est dépassée, les cantons interdisent les utilisations concernées. Dans les régions où l'aménagement du territoire a attribué les sols à l'horticulture, à l'agriculture ou à la sylviculture, ils prescrivent des mesures qui permettent de ramener l'atteinte portée au sol en dessous de la valeur d'assainissement, à un niveau tel que l'utilisation envisagée, conforme au milieu, soit possible sans menacer l'homme, les animaux ou les plantes (cf. art. 10 OSol).

Les valeurs d'assainissement sont fixées pour les catégories d'utilisation suivantes: agriculture et horticulture, jardins privés et familiaux, places de jeux (cf. annexe 1, chiffre 13, OSol). Si l'on ne dispose pas de seuils d'investigation ou de valeurs d'assainissement pour un type donné d'utilisation du sol, il convient d'évaluer, au cas par cas, si l'atteinte portée à un sol menace la santé de l'homme, des animaux ou des plantes (cf. art. 5, al. 3, OSol).

## 2.6 Compétence exécutive

L'art. 36 LPE précise que l'exécution incombe aux cantons, même en ce qui concerne la protection des sols – sous réserve de l'art. 41 LPE. Toutefois, selon l'art. 41, al. 2, LPE, si une autorité fédérale (p. ex. DDPS, OFAC, OFT) exécute une autre loi fédérale, elle est responsable également de l'application de la LPE.

C'est pour cette raison que la protection des sols selon la LPE sur les places et installations de tir doit être exécutée par le service du DDPS compétent pour l'application de la *loi fédérale du 3 février 1995 sur l'armée et l'administration militaire (LAAM; RS 510.10)*.

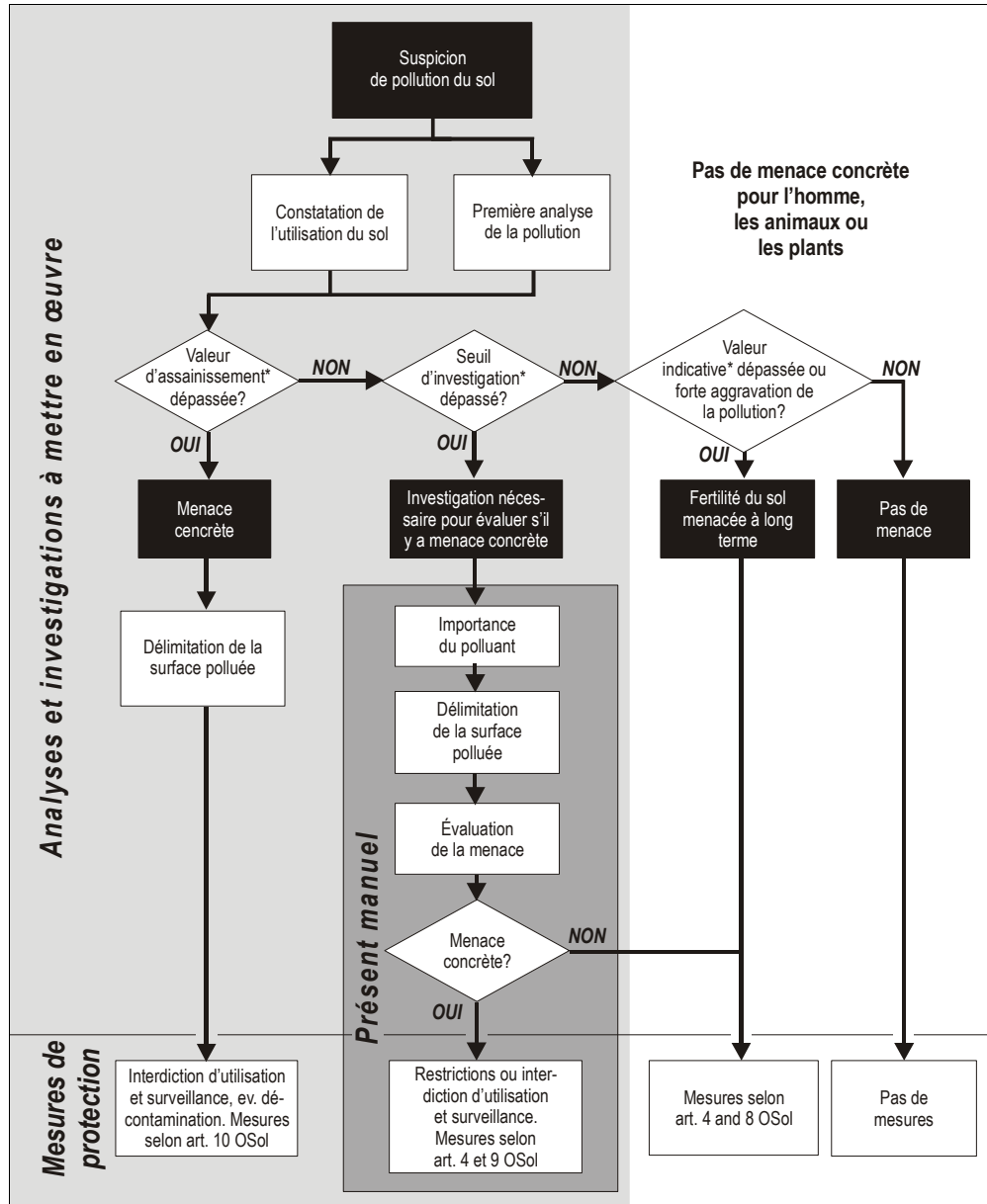
C'est également le cas pour l'évaluation de la menace selon l'art. 9 OSol. Chaque fois que ce manuel renvoie à la compétence cantonale, cela s'applique donc par analogie à l'autorité exécutive du DDPS dans le domaine de compétence de la LAAM (cf. art. 126 LAAM).

Le mandat d'exécution du DDPS en matière de protection des sols n'est transmis aux cantons que lorsque l'affectation militaire et l'application du droit selon la LAAM sont retirées à une place de tir et que le terrain est ainsi libéré.

Selon l'art. 41 LPE, les autorités fédérales coopèrent avec les instances cantonales s'agissant de leur activité portant sur l'application de la LPE.

# 3 Procédure

Figure 2 : Procédure selon la législation sur la protection des sols en cas de pollution ; fonction du présent manuel. [\*Lorsque les valeurs réglementées selon l'OSol manquent, cf. chap. 7].





### **3.1 Procédure en cas de restriction volontaire de l'utilisation du sol**

Lorsque l'exploitant limite volontairement l'utilisation du sol, il est possible de renoncer à une évaluation de la menace, pour autant que les objectifs de protection soient atteints. Dans ce but, les propriétaires fonciers concernés confirment explicitement respecter la restriction de l'utilisation du sol. La forme concrète de cet engagement est réglée de cas en cas.

### **3.2 Constat de l'utilisation du sol**

Le mode d'utilisation d'une surface détermine les voies de contamination par lesquelles l'homme, les animaux ou les plantes peuvent être concrètement menacés par des substances polluantes. Les annexes 1 et 2 de l'OSol précisent les seuils d'investigation selon l'utilisation du sol :

- cultures alimentaires (agriculture, cultures maraîchères, vergers et vignes, jardins privés et familiaux);
- cultures fourragères (cultures de fourrages, prairies de fauche, pâturages, pâturages de fauche);
- risque par ingestion (jardins privés et familiaux, aires de jeux, jardins d'enfants, espaces verts, terrains de sport).

#### **Utilisations actuelles et futures**

Les informations suivantes sont collectées pour les sols contaminés :

- les utilisations actuelles pour permettre l'évaluation de la menace;
- les utilisations constatées en termes d'aménagement du territoire, planifiées ou autres. La connaissance de ces utilisations est importante pour évaluer des risques futurs et des exigences à prévoir pour la surveillance du sol. Par exemple, une surface agricole polluée qui sera utilisée comme zone à bâtir (mise en zone constructible).

### **3.3 Importance du polluant**

Il convient de déterminer l'importance du polluant par rapport à la menace qui pèse sur les biens à protéger et aussi sur l'homme. Différentes voies de contamination sont significatives selon l'utilisation du sol et selon les substances polluantes (cf. annexe 2, informations sur les polluants les plus fréquents). L'évaluation de la menace peut différer en fonction de l'utilisation (cf. chap. 4 à 6).

### 3.3.1 Importance du polluant dans les cultures alimentaires

L'exploitation du sol pour les cultures alimentaires comprend la production de végétaux pour l'alimentation humaine. En ce cas, une seule voie de contamination joue un rôle (cf. tab. 1).

Tableau 1 : Voie de contamination dans les cultures alimentaires.

Voie de contamination	Transfert des polluants
Absorption par les plantes alimentaires (par les racines ou les feuilles)	sol → [solution du sol →] plante → homme

Une substance polluante représente une menace pour la santé humaine par consommation de plantes alimentaires lorsque les deux conditions suivantes sont remplies (cf. annexe 2):

- le végétal absorbe, ou adsorbe un polluant ou est souillé par un sol pollué.
- la substance polluante ou les produits issus de la transformation du polluant sont toxiques pour l'homme (toxicité humaine).

### 3.3.2 Importance du polluant dans les cultures fourragères

L'exploitation du sol pour les cultures fourragères concerne la production de végétaux pour l'alimentation animale et englobe aussi bien les cultures en plein champ (p. ex. maïs, céréales fourragères, betteraves fourragères) que les herbages (p. ex. pâturages, prairies de fauche). Non seulement les polluants menacent les animaux de rente mais aussi l'homme qui consomme des produits animaux. Pour évaluer l'importance d'une substance polluante dans les cultures fourragères, il faut considérer les voies de contamination selon le tableau 2 et également différencier les animaux et les hommes à protéger.

Tableau 2 : Voies de contamination dans les cultures fourragères.

Voie de contamination	Transfert des polluants
Absorption par les racines	sol → solution du sol → plante → animal → homme sol → solution du sol → plante → animal
Souillures « terreuses »	sol → plante → animal → homme sol → plante → animal
Ingestion par voie orale	sol → animal → homme sol → animal

**Menace pour les animaux** Le transfert de la substance polluante à l'animal se fait par ingestion de la plante ou par ingestion directe de terre ou de matières polluantes imprégnant le sol. Selon l'animal de rente considéré et selon le type d'alimentation, la part ingérée par voie orale se situe entre 0 et 30% de la quantité de fourrage (cf. tab. 13).

Une substance polluante menace les animaux s'il y a absorption par les racines lorsque les conditions **1** et **2** sont remplies :

- 1** la plante fourragère absorbe le polluant ;
- 2** la substance polluante ou les produits de transformation du polluant sont toxiques pour l'animal (toxicité animale).

Une substance polluante menace les animaux par ingestion de terre ou de matières polluantes mélangées au sol lorsque les conditions **3** et **4** sont remplies :

- 3** l'animal absorbe la substance en ingérant par voie orale de la terre ou des matières polluantes mélangées au sol et au fourrage ;
- 4** la substance polluante ou les produits de transformation du polluant sont toxiques pour l'animal (toxicité animale).

**Menace pour l'homme** Une substance polluante menace l'homme par consommation de produits animaux contaminés lorsque les conditions **1**, **5** et **6** ou les conditions **3**, **5** et **6** sont remplies :

- 5** la substance polluante s'est accumulée dans le produit animal ;
- 6** la substance polluante ou les produits de transformation du polluant sont toxiques pour l'homme (toxicité humaine).

Dans ce contexte, les informations suivantes sont importantes :

- animaux de rente concernés : par exemple bovins, porcs, moutons ;
- type d'alimentation des animaux concernés : par exemple pâture, affouragement au foin ainsi que céréales fourragères et autres fourrages concentrés.

### **3.3.3 Importance du polluant en cas d'utilisation du sol présentant un risque par ingestion**

Lors d'une utilisation du sol présentant un risque par ingestion, le transfert de la substance polluante n'a lieu que par une voie de contamination unique (cf. tab. 3).

Tableau 3 : Voie de contamination en cas d'utilisation du sol avec risque par ingestion.

<b>Voie de contamination</b>	<b>Transfert des polluants</b>
Ingestion par voie orale	sol→homme

**Menace par ingestion** Une substance polluante potentiellement dangereuse pour l'homme n'est importante que si

- une personne en contact avec le sol absorbe directement la substance ;
- la substance polluante est toxique pour l'homme (toxicité humaine).

### 3.4 Délimitation spatiale et analyse des sols pollués

#### Extensions horizontale et verticale

Les extensions horizontale et verticale de la pollution d'un sol doivent être déterminées. La prise d'échantillons se conforme au *Manuel – Prélèvement et préparation d'échantillons de sols pour l'analyse de substances polluantes* (OFEFP 2003). Elle est effectuée par du personnel qualifié en pédologie. Des échantillons sont prélevés par carottage à des endroits prédéterminés. L'échantillonnage se fait à des profondeurs fixes, les couches prélevées ont au moins 5 cm d'épaisseur, par souci de reproductibilité. Les profondeurs sont choisies en fonction de l'atteinte au sol à craindre (hypothèses faites au sujet de la pollution), de la voie de contamination et des personnes, animaux ou plantes à protéger (annexes 1 et 2, OSol).

#### Analyse du sol

Les choix des analyses du sol se font en fonction de l'utilisation (cf. chap. 3.2, annexes 1 et 2, OSol). Pour évaluer la menace, il est nécessaire d'examiner d'autres valeurs caractéristiques du sol en plus des teneurs en polluants. Autant de points dont il faut tenir compte en planifiant l'échantillonnage.

L'analyse des sols peut suivre toutes les méthodes qui sont étalonnées selon la méthode ordinaire OSol (cf. annexes 1 et 2, OSol) et fournissent à tout moment des résultats comparables et reproductibles avec cette méthode. On pense par exemple à des méthodes d'analyse physique correspondant à l'état le plus récent de la technique (p. ex. fluorescence de rayons X).

Les données suivantes sont importantes pour toutes les utilisations :

- pour les substances inorganiques, la teneur totale et éventuellement la teneur soluble selon l'annexe 1 OSol; normalement, seules les teneurs totales selon l'OSol sont nécessaires (systèmes experts; cf. chap. 3.5.2);
- pour les polluants organiques, la teneur totale selon l'annexe 2 OSol.

Pour les «cultures alimentaires» et les «cultures fourragères», il faut aussi déterminer les données suivantes en relation avec les propriétés du sol :

- pH;
- teneur en *matières organiques* («humus»); pour les polluants organiques, une détermination analytique est recommandée, sinon au moins une estimation dans les catégories 0–2%, 2–8%, 8–15%, >15% (cf. AGROSCOPE FAL 1997, AG BODEN 1994);
- granulométrie, avec au moins une estimation de la teneur en argile de la terre fine par test tactile (cf. AGROSCOPE FAL 1997, AG BODEN 1994);
- éventuellement, détermination de la teneur en calcaire et de la capacité d'échange cationique effective (CEC<sub>eff</sub>). La connaissance de ces propriétés peut améliorer l'appréciation de la disponibilité présente du polluant et son évolution.

## 3.5 Évaluation de la menace

### 3.5.1 Procédure générale

Si les investigations concernant les atteintes au sol confirment que, dans un certain secteur, les seuils d'investigation sont dépassés et qu'ainsi la pollution du sol constitue une menace concrète pour l'homme, les animaux ou les plantes, il faut procéder à une évaluation de la menace (cf. chap. 3.1). La procédure est conforme aux chapitres 4 à 6, tenant compte de l'utilisation du sol. Les principes et procédures valables pour toutes les utilisations sont résumés ci-après.

Évaluation en  
deux étapes

L'évaluation de la menace comprend une *analyse de la pollution* et une *évaluation de la pollution* :

- l'*analyse de la pollution* a pour objectif d'inventorier les atteintes à l'homme, aux animaux ou aux plantes par une substance polluante (transfert à ces biens à protéger).
- l'*évaluation de la pollution* permet de juger à l'aide de critères, si elle représente une menace.

Les critères d'évaluation de ce manuel sont axés sur les teneurs légales maximales ainsi que sur les valeurs limites reconnues et justifiées par les études toxicologiques (teneurs maximales des aliments ou des fourrages, et quantités maximales admissibles pouvant être absorbées par les personnes et animaux à protéger). Dans le cadre de l'évaluation, les charges polluantes sont classées dans les catégories de risque suivantes (cf. tab. 4).

Tableau 4 : Classement des risques selon la pollution.

Pollution	Catégorie de risque
Il n'y a pas de teneurs significativement élevées en polluants (dans les aliments / fourrages) ni d'absorption de substances polluantes (personnes et animaux).	→ pas de menace concrète
Il y a des teneurs significativement élevées en polluants (dans les aliments / fourrages) et absorption de substances polluantes (personnes et animaux). Les teneurs légales maximales et les valeurs seuils reconnues et justifiées par les études toxicologiques ne sont pas dépassées.	→ menace concrète potentielle
Les teneurs légales maximales et les valeurs seuils reconnues et justifiées par les études toxicologiques (teneurs maximales des aliments et quantités maximales pouvant être absorbées par les personnes et animaux) sont dépassées.	→ menace concrète

### 3.5.2 Évaluation à l'aide de systèmes experts

Ce manuel présente une méthode, dite «système expert», permettant d'effectuer avec peu de moyens une évaluation de la menace pour chaque utilisation du sol (cf. chap. 4.1, 5.1, 6.1). Dans un système expert, chaque facteur d'influence ou paramètre reçoit un certain nombre de points dont la somme donne un indice de menace. Les catégories de menace sont ainsi classées en fonction de ces notes.

**Quand les systèmes experts sont-ils appropriés ?**

Les systèmes experts sont établis sur la base des concentrations en substances comprises entre seuils d'investigation et valeurs d'assainissement et ne sont applicables qu'entre ces deux seuils. Ils se basent sur la teneur totale du sol en substances polluantes, ces teneurs sont connues dans la plupart des cas à la suite d'investigations déjà effectuées. Par ailleurs, les teneurs en substances solubles ne sont pas déterminantes pour tous les polluants (p. ex. pour le Pb). C'est pourquoi l'OSol, dans de tels cas, ne prescrit pas de valeurs réglementaires pour les teneurs en éléments solubles. En revanche, si dans un secteur, il n'y a que les seuils d'investigation des éléments solubles qui soient dépassés ou bien si l'on ne dispose que de données concernant les teneurs en éléments solubles, il faut procéder à des investigations plus détaillées (cf. chap. 3.5.3, 4.2, 5.2 et 6.2).

En règle générale, une évaluation de la menace avec un système expert est appropriée. La sélection des mesures à prendre se déroule, avec un système expert, de la même manière qu'après une investigation détaillée (cf. chap. 3.5.3), car les deux méthodes sont basées sur les mêmes critères d'évaluation. Si le système expert est plus simple grâce à l'utilisation d'une attribution de points, il est aussi moins précis vu la complexité qui caractérise le sol (cf. chap. 3.7, annexe 9). Il s'en suit que les teneurs maximales admissibles en polluants ou les seuils admissibles ne seront pas nécessairement dépassés même si l'évaluation par le système expert donne dans certains cas pour résultat une « menace concrète ».

En conclusion, les systèmes experts permettent d'apprécier le risque mais aussi de faire une première évaluation (approximative) de l'importance que peut prendre le manque de fiabilité de certains paramètres. Ceux-ci peuvent en effet être variés, ce qui permet d'en observer l'effet sur l'appréciation du risque (sensibilité). En plus, cela permet de définir les moyens les mieux adaptés pour contrer la menace (scénarios des mesures à prendre).

L'évaluation à l'aide de systèmes experts est simplifiée par des *tableurs préétablis*.<sup>2</sup>

### **3.5.3 Évaluation à l'aide d'investigations plus détaillées**

Des investigations détaillées sont particulièrement recommandées en cas de forte incertitude (p. ex. données non fiables). Elles représentent une éventualité pour les personnes concernées qui ne sont pas d'accord avec les mesures décidées par les autorités (cf. chap. 3.6 et 8) et qui veulent procéder elles-mêmes à une vérification au moyen d'une investigation plus détaillée.

Il faut appliquer le principe suivant:

**Une évaluation effectuée sur la base d'un système expert est valable aussi longtemps qu'une investigation plus détaillée ne nécessite pas d'autre évaluation.**

---

<sup>2</sup> cf. format Excel: [http://www.environnement-suisse.ch/thèmes/sol/mise en œuvre de l'OSol→manuel évaluation de la menace](http://www.environnement-suisse.ch/thèmes/sol/mise%20en%20œuvre%20de%20l'OSol/manuel%20évaluation%20de%20la%20menace).

### 3.6 Détermination des mesures à prendre

Quelle mesure  
pour quelle menace ?

Des mesures doivent être prises lorsque les seuils d'investigation sont dépassés dans un secteur. Si une menace concrète est mise en évidence par l'évaluation, il s'agit de définir des mesures pour éliminer le risque. Si, après l'évaluation, il n'apparaît pas de menace concrète, il faut néanmoins, conformément à l'art. 4, al. 1, OSol, mettre la surface concernée sous surveillance, car le constat du dépassement des seuils d'investigation doit faire admettre l'hypothèse qu'il y a menace à long terme sur la fertilité du sol (net dépassement des valeurs indicatives). Il faut en outre considérer qu'un changement d'utilisation peut également conduire à un changement de la menace.

La définition des mesures à prendre est détaillée au chapitre 8. Elles sont classées en fonction de la catégorie de risque (cf. tab. 5).

Pour définir les mesures de protection, il faut aussi prendre en considération certains paramètres du cas concret qui n'ont pas déjà trouvé place dans l'évaluation de la menace. Ils peuvent justifier une modification des mesures à prendre (cf. chap. 8.1.2).

Tableau 5: Classement des mesures à prendre en fonction des catégories de risque.

Catégories de risque	Mesures à prendre
Pas de menace concrète	→ surveillance (art. 4, al. 1, OSol) et élimination à la source (art. 8 OSol)
Menace concrète potentielle	→ recommandations d'utilisation ; surveillance supplémentaire (art. 4, al. 1, OSol) avec élimination à la source (art. 8 OSol)
Menace concrète	→ restriction et interdiction d'utilisation et éventuellement décontamination ; surveillance supplémentaire (art. 4, al. 1, OSol) avec élimination à la source (art. 8 OSol)

### 3.7 Résultat – Incertitude

#### 3.7.1 Remarques préliminaires

Le but de l'évaluation de la menace est d'apprécier au mieux les effets d'une pollution du sol sur les biens à protéger, soit l'homme, les animaux ou les plantes. Cette procédure se déroule en deux étapes, *l'analyse de la pollution* et *évaluation de la pollution* (cf. chap. 3.5.1).

Toute la procédure concernant l'évaluation de la menace s'appuie sur l'état des connaissances et de l'expérience. Ceci est valable aussi bien pour l'effet des polluants sur la santé de l'homme et des animaux que pour les processus de transfert des polluantes vers l'homme, les animaux ou les plantes qui sont des biens à protéger. L'état des connaissances est différent selon les processus et selon les substan-

ces, ce qui entraîne des incertitudes quant aux résultats donnés par les systèmes d'évaluation (cf. annexe 5). Ceci s'applique spécialement aux systèmes experts très simplifiés. Ils ont été conçus pour tenir compte du principe de précaution inscrit dans le droit environnemental suisse et donnent des résultats qui laissent une bonne marge de sécurité.

La qualité de jugement et les compétences professionnelles du spécialiste en charge de l'étude jouent un rôle essentiel pour l'appréciation numérique de facteurs peu ou pas mesurables et pour l'influence des paramètres. Ceux-ci sont spécialement difficiles à pondérer. Il est donc important de retenir que ceux qui entraînent une modification du résultat de l'évaluation produisent certainement une variation du risque (cf. l'exemple du jardin d'enfants; annexe 1C).

Il faut au moins avoir un ordre de grandeur de l'impact des incertitudes sur le résultat de l'évaluation de la menace. Le fait que les incertitudes soient difficilement quantifiables est un obstacle à cet objectif. Une solution est offerte par les modélisations qui tiennent compte de la dispersion des paramètres (méthode Monte-Carlo, méthode Fuzzy) et qui mettent en évidence cette influence (p. ex. MOSCH-ANDREAS & KARUCHIT 2002, GUYONNET *et al.* 2003).

### 3.7.2 Analyse de la pollution

#### Problèmes à l'analyse de la pollution

Les plus grandes difficultés sont liées à l'estimation du transfert des substances polluantes sol-animaux-homme et sol-plantes (analyse de la pollution). Le transfert est fonction de nombreux facteurs et de leurs interactions souvent complexes. Un grand nombre de paramètres et de méthodes, eux-mêmes naturellement entachés d'incertitudes, entrent donc dans le résultat de l'évaluation. Voici quelques-unes des incertitudes les plus importantes:

#### *Facteurs d'incertitude naturels*

- variation des valeurs mesurées dans le temps et dans l'espace;

#### *Imprécision des données (grandeurs mesurées)*

- prise et préparation des échantillons (cf. chap. 3.4) ;
- analyses de laboratoire (sol, plantes, cf. chap. 3.4);

#### *Incertitudes dans la prise en compte et la description des processus*

- appréciation, sous forme numérique, de facteurs qui sont peu ou pas mesurables, par exemple fréquence de l'utilisation d'une aire de jeux (cf. chap. 6.1);
- systèmes d'évaluation, à savoir les systèmes experts (cf. chap. 4.1, 5.1, 6.1);
- pondération des paramètres pour définir les mesures à prendre (cf. chap. 8.1.2).



**Prélèvement d'échantillons:** Au cours de l'évaluation de la pollution du sol, à titre d'évaluation de la menace, les prélèvements, les préparations et les analyses en laboratoire d'échantillons sont entachés d'incertitudes. Les problèmes liés au prélèvement et à la préparation d'échantillons de sol sont présentés dans le manuel intitulé «*Prélèvement et préparation d'échantillons de sols pour l'analyse de substances polluantes*» (OFEFP 2003). Les variations spatiales de la pollution représentent la principale source d'incertitudes (surface à analyser, échantillonnage). Les marges d'erreur des analyses en laboratoire peuvent en général être assez facilement estimées sur la base des rapports d'essais interlaboratoires (AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ, annuel). L'annexe 5 et DESAULES (2004) traitent des incertitudes dans la comparaison de résultats de mesures avec les teneurs maximales et les valeurs réglementées.

### 3.7.3 Évaluation de la pollution

L'évaluation de la pollution est axée sur les teneurs maximales admissibles fixées par la législation et les seuils reconnus scientifiquement ainsi que par des études toxicologiques. Cette procédure réduit les incertitudes de l'évaluation.

Le principe de précaution et la tendance à la sécurité maximale peuvent, dans certains cas, occasionner un risque excessif. L'évaluation au moyen d'un système expert ne doit donc pas être considérée comme définitive (cf. chap. 3.5.2). Par ailleurs, il faut savoir que lors d'une évaluation de la menace, on considère toujours des substances isolées. En réalité, les atteintes au sol sont dues, le plus souvent, à l'action de plusieurs substances, dont l'effet global est difficile à évaluer. Enfin, la contamination de l'homme peut varier en fonction d'atteintes par d'autres sources éloignées (absorption de diverses combinaisons d'aliments, comportement humain, p. ex. consommation de tabac).

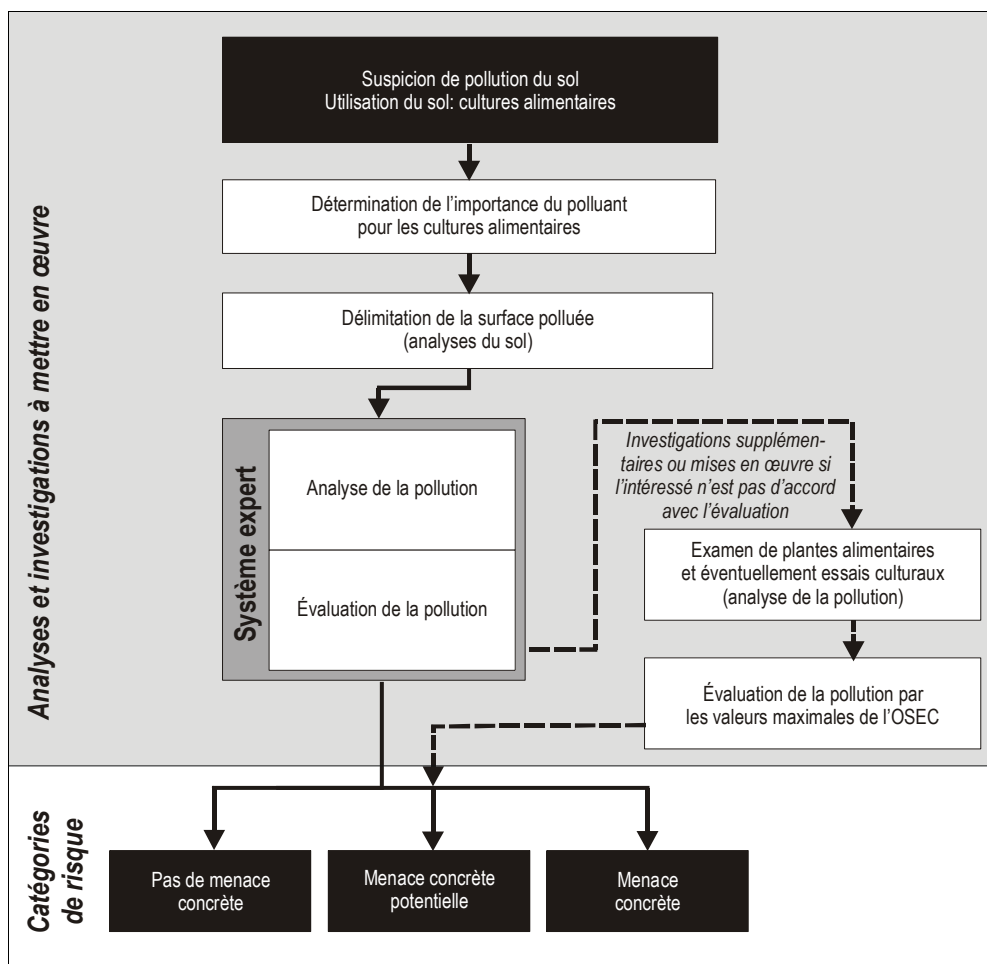
#### Conséquences pour la procédure

Au cours de l'évaluation de la menace, il est important de minimiser autant que possible les incertitudes et de rendre la procédure compréhensible. Voici les mesures les plus importantes à prendre dans ce contexte:

- documenter la totalité de la procédure depuis le constat de l'utilisation du sol et de la planification du prélèvement des échantillons jusqu'à la définition des mesures à prendre, sans oublier toutes les hypothèses faites au cours de l'évaluation;
- faire appel à des spécialistes qui relèvent et classent les incertitudes importantes et évitent les sources d'erreur autant durant le travail sur le terrain (prélèvement d'échantillons, évaluation sur site) que lors de l'analyse et de l'évaluation des atteintes au sol;
- faire participer le laboratoire à des essais interlaboratoires et éventuellement accréditation du laboratoire.

# 4 Évaluation de la menace pour les cultures alimentaires

Figure 3 : Procédure d'évaluation de la menace pour les cultures alimentaires.  
[OSEC : Ordonnance sur les substances étrangères et les composants ; RS 817.021.23].



## 4.1 Système expert « cultures alimentaires »

### 4.1.1 Bases

#### Système expert : bases

Le système expert «cultures alimentaires» permet une analyse simplifiée de la menace des cultures alimentaires. Il est conçu pour les concentrations en substances polluantes comprises entre seuil d'investigation et valeur d'assainissement (champ d'application du seuil d'investigation) et n'est appliqué que dans cette fourchette.

Le système expert tient compte des facteurs suivants qui agissent sur le transfert des polluants sol-plante :

- propriétés spécifiques de la substance polluante ;
- propriétés du sol, soit pH, teneur en matières organiques et en argile ;
- caractéristiques d'absorption différentes des espèces végétales alimentaires.

Comme la contamination des plantes par des substances organiques s'effectue en grande partie par dépôts atmosphériques (BLUME 1992, OFEFP 1997b, DELSCHEN *et al.* 1999, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002) et que l'état des données concernant le transfert sol-plante n'est pas suffisant, le système expert est limité aux substances inorganiques. Parmi les substances organiques, les PAH jouent le plus souvent un rôle déterminant (recommandations, cf. annexe 2E).

Les concentrations maximales mentionnées dans l'OSEC (cf. chap. 4.2.2) servent de référence pour l'appréciation de la teneur en substances polluantes des plantes alimentaires.

#### 4.1.2 Analyse de la pollution

Le système expert utilise une échelle de points pour l'évaluation. Les facteurs d'influence (pollution, mobilité, espèce végétale et toxicité) se voient attribuer un certain nombre de points, qui sont additionnés pour donner un total (indice de menace I). Plus le total est élevé, plus la menace est grande.

##### **Indice de menace I**

Le facteur pollution P se calcule comme suit:

$$I = P + M + V + T \quad (\text{CA4.1})$$

<i>I</i>	<i>indice de menace</i>
<i>P</i>	<i>facteur pollution (entre 0 et 5 points)</i>
<i>M</i>	<i>facteur mobilité (entre 0 et 6 points)</i>
<i>V</i>	<i>facteur espèce végétale (entre 0 et 2 points)</i>
<i>T</i>	<i>facteur de correction pour toxicité (entre -1.5 et +1.5 points).</i>

##### **Facteur pollution P**

Le facteur pollution P se calcule comme suit:

$$P = 5 \times \frac{C_{sol} - SI}{VA - SI} \quad (\text{CA4.2})$$

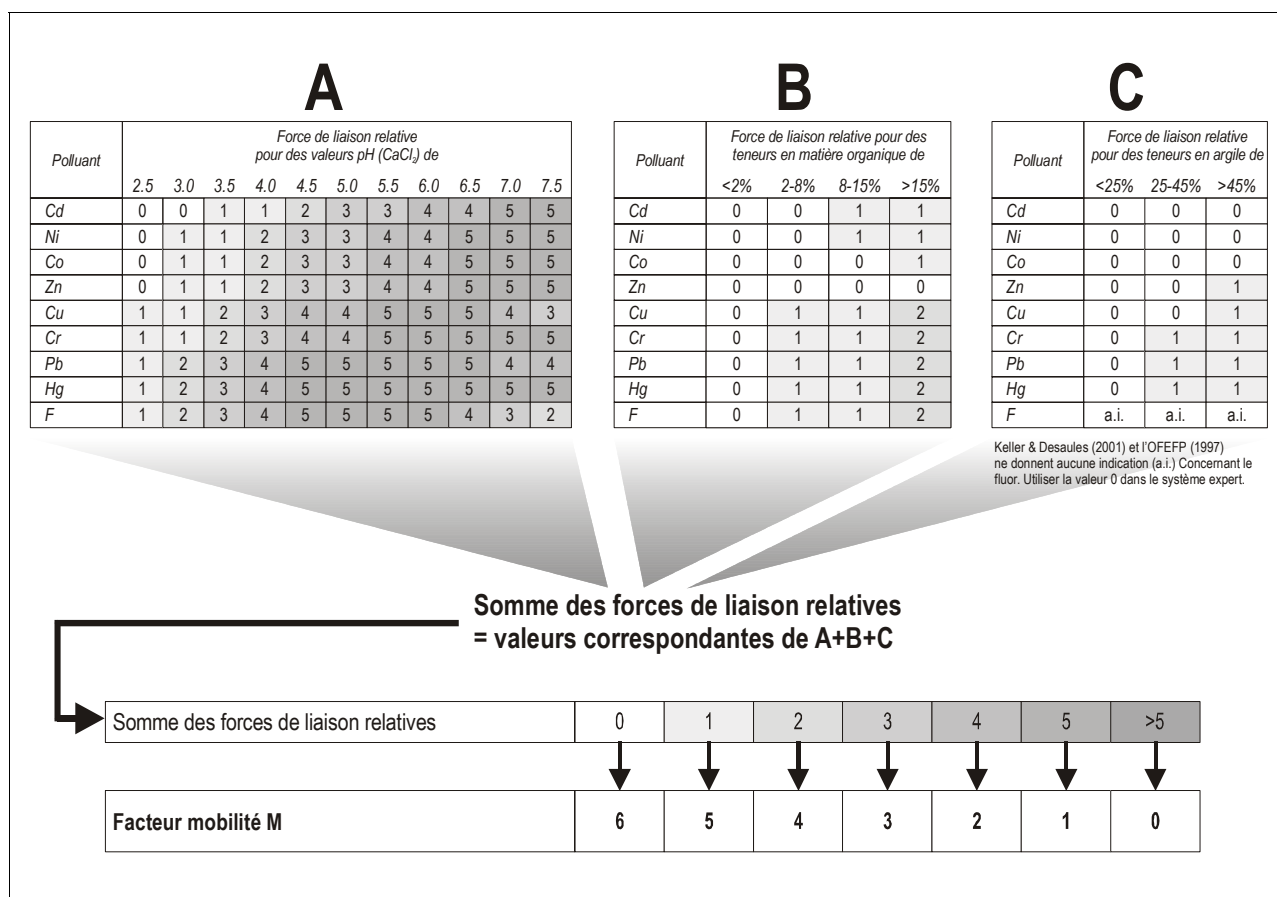
<i>P</i>	<i>facteur pollution (points)</i>
<i>C<sub>sol</sub></i>	<i>pollution du sol ([mg/kg]; «teneur totale» selon OSol)</i>
<i>SI</i>	<i>seuil d'investigation pour cultures alimentaires selon OSol [mg/kg]</i>
<i>VA</i>	<i>valeur d'assainissement pour agriculture et horticulture ou jardins familiaux et privés [mg/kg].</i>

Si la pollution du sol correspond au seuil d'investigation, alors P = 0. Pour la valeur d'assainissement, P = 5. Entre ces deux limites, le facteur de pollution varie linéairement.

### Facteur mobilité M

Le facteur mobilité est défini à partir de la figure 4. Le facteur d'absorption relative de la substance polluante par le sol sera d'abord déterminé à l'aide des caractéristiques de ce dernier (pH, teneur en matières organiques et en argile). Pour ce faire, les valeurs des listes A, B et C sont additionnées. Puis, le facteur mobilité est déduit à partir des facteurs d'absorption relative.

Figure 4 : Détermination du facteur mobilité. Les valeurs des listes A à C sont reprises de DVWK (1988) et complétées pour le fluor de KELLER & DESAULES (2001) et OFEFP (1997c). SELON SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2002; cf. p. 369) la mobilité du TI est comparable à celle du Zn, la mobilité de l'As à celle du Cr.



### Facteur espèce végétale V

#### Absorption de polluants par les plantes

Le tableau 6 présente le facteur espèce végétale pour différentes plantes utiles. Si aucune donnée sur l'espèce végétale concernée ne figure dans ce tableau et s'il n'est pas possible de trouver des données à partir d'une autre source, il faut supposer une valeur moyenne d'absorption des polluants par la plante (facteur V = 1). En complément, on contrôle l'effet d'une absorption élevée par le végétal en question sur le résultat de l'évaluation.

Tableau 6 : Facteurs espèce végétale pour plantes utiles et substances inorganiques.

<b>Plantes alimentaires</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Tl</b>	<b>Zn</b>
<b>Céréales</b>										
orge (grain)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
avoine (grain)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
maïs (grain)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
seigle (grain)	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
blé (grain)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>Légumes</b>										
<i>racines et tubercules</i>										
carottes	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
pommes de terre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
céleri-rave	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
chou-rave	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
radis noir	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
radis	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
betterave rouge	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
salsifis	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-
<i>bulbes</i>										
oignon	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
poireau	-	0	-	-	-	-	-	1	0	-
<i>légumes fruits</i>										
aubergines	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
concombre	-	0	-	-	-	-	-	0	0	-
courge	-	0	-	-	-	-	-	-	0	-
poivron	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tomate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
courgette	-	0	-	-	-	-	-	0	0	-
maïs comestible	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>légumes à feuilles</i>										
chou-fleur	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
brocoli	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0
cresson d'eau	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
chou chinois	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
scarole	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
rampon, doucette, mâche	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
cresson alénois	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
chou frisé	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
laitue	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
lollo rouge	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
bette	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
choux de Bruxelles	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
chou rouge	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
épinards	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
chou de Milan	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
chou frisé	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>légumes-tiges</i>										
céleri-branche	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0
<i>légumineuses</i>										
haricots	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
petits pois	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
colza	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
<b>Fruits</b>										
<i>baies, général</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>fruits à pépins, général</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>fruits à noyau, général</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0 = faible absorption    1 = absorption moyenne    2 = forte absorption    - = aucune donnée  
Données tirées de BLUME (1992), IPE (1994), WENK *et al.* (1997), DELSCHEN & KÖNIG (1998). En cas de valeurs différentes selon les publications, c'est la plus élevée qui est indiquée. Il n'existe pas de données suffisantes pour le fluor (F).

### **Facteur de correction T (pour toxicité)**

Le danger présenté par une substance polluante ne dépend pas seulement de son transfert au végétal, mais aussi de sa toxicité pour l'homme. Pour cette raison, le facteur de correction T (pour toxicité) est une mesure de la relation entre les quantités de substance absorbées par le végétal et la teneur maximale admise par l'OSEC (cf. chap. 4.2.2). Les teneurs maximales sont une mesure de la toxicité des substances. L'OSEC ne prescrit de teneurs maximales dans les plantes que pour les métaux lourds (Cd, Pb et Tl). Sur le plan international, des valeurs limites ne sont fixées pour les végétaux que s'agissant du Cd et du Pb (BERG & LICHT 2002). Pour le Cd, le Pb et le Tl, le facteur de correction a été établi à l'aide d'une méthode statistique sur la base d'un grand nombre de mesures de la concentration en polluants du sol et des plantes (cf. annexe 9A).

Pour le Cu et le Zn, les valeurs d'assainissement de l'OSol pour les jardins ont été choisies en fonction des dégâts aux plantes (baisse de fertilité) et non en fonction du risque pour l'homme (OFEFP 1997a; cf. aussi annexe 2C et 2D). Pour cette raison, le facteur de correction T de ces deux éléments a été abaissé. Pour toutes les autres substances pour lesquelles l'OSEC n'a pas fixé de teneurs maximales, le facteur de correction T a été établi à 0, c'est-à-dire «non déterminable».

Tableau 7 : Facteurs de correction T pour substances inorganiques (cultures alimentaires).

Élément	As	Cd	Co	Cr	Cu	F	Hg	Ni	Pb	Tl	Zn
Facteur de correction T	0	0.5	0	0	-1.5	0	0	0	0	0	-1.5

**gras** = facteur de correction T calculé avec une méthode statistique.

### **4.1.3 Évaluation de la pollution**

Les indices de menace I, calculés avec l'équation (CA4.1), déterminent les catégories de risque selon tableau 8.

Tableau 8 : Catégories de risque selon le système expert pour les cultures alimentaires.

Indices de menace $I = P + M + V + T$	<3	3-<5	≥5
Catégories de risque pour Cd, Pb, Tl*)	pas de menace concrète	menace concrète potentielle	menace concrète
Catégories de risque pour As, Co, Cr, Cu, F, Hg, Ni, Zn	pas de menace concrète	menace concrète potentielle	menace concrète potentielle

\* Incertitudes de l'évaluation de la menace à estimer plus grandes que pour Cd et Pb, car l'absorption du Tl par les végétaux est moins connue.

Le classement en catégories de risque différentes selon les substances est justifié par l'absence de teneurs maximales pour les aliments de toutes les matières inorganiques à part les suivantes: Cd, Pb et Tl (cf. chap. 4.1.2, facteur de correction T, et annexe 9). Pour les autres métaux lourds, le seuil de menace entre seuil d'investigation et valeur d'assainissement ne peut pas être clairement défini. Les indices de menace atteints sont à considérer comme mesure de la probabilité qu'une menace concrète existe.

Des études de cas basées sur ce système expert sont présentées pour l'agriculture et l'horticulture dans l'annexe 1A et pour les jardins dans l'annexe 1D. L'emploi est simplifié par des *tableurs préétablis* pour les utilisations «agriculture et horticulture» et «jardins».<sup>3</sup>

## 4.2 Évaluation détaillée de la menace pour les cultures alimentaires

### 4.2.1 Analyse de la pollution

Une analyse détaillée est possible avec l'examen des plantes alimentaires cultivées sur la surface polluée. Dans ce contexte, il faut analyser la teneur en substances polluantes dans au moins deux espèces. Le critère de sélection est que le polluant s'accumule en quantités différentes selon les plantes choisies (cf. tab. 6).

#### Cultures d'essai et prises d'échantillons

S'il n'y a pas d'espèces représentatives de plantes alimentaires sur la surface concernée, il est possible d'organiser une culture d'essai. Dans ce contexte il faut retenir ceci: plus l'étendue de la pollution est grande et plus la surface est grande, plus le risque de contamination est élevé (homme ou animaux) et plus la culture d'essai est nécessaire. Des informations plus détaillées sur les cultures d'essai et sur la prise d'échantillons sont données à l'annexe 3.

#### Analyse et échantillons pour conservation

Pour l'analyse, il faut prévoir à chaque fois un échantillon composé par espèce végétale. Les échantillons restants sont mis en dépôt après leur préparation et analysés selon les besoins. L'analyse est effectuée pour des plantes prêtes à l'emploi, c'est-à-dire que les parties consommables sont lavées ou nettoyées de sorte à éliminer les impuretés du sol. Les méthodes d'analyse sont prescrites par la législation sur les denrées alimentaires.

---

<sup>3</sup> cf. format Excel: [http://www.environnement-suisse.ch/themes/sol/mise en œuvre de l'OSol](http://www.environnement-suisse.ch/themes/sol/mise%20en%20oeuvre%20de%20l'OSol/) → manuel évaluation de la menace.

## 4.2.2 Évaluation de la pollution

### Teneurs maximales selon l'OSEC

Les teneurs maximales pour les denrées alimentaires selon l'OSEC sont utilisées pour l'évaluation des teneurs en polluants des plantes alimentaires (cf. tab. 9). Ces teneurs s'appliquent aux végétaux mis dans le commerce et destinés à l'alimentation humaine. Elles peuvent aussi être appliquées aux végétaux qui ne sont pas mis sur le marché :

- *les valeurs de tolérance* sont les concentrations maximales en substances au-delà desquelles l'aliment est considéré comme pollué ou de moindre valeur.
- *les valeurs limites* sont les concentrations maximales au-delà desquelles l'aliment est jugé impropre à la consommation humaine.

Tableau 9 : Teneurs maximales selon l'OSEC par rapport à l'OSol (état juillet 2004).

Substance	Teneurs maximales OSEC [mg/kg poids frais]	Denrée alimentaire	Type de teneur maximale
Cd	0.2	légumes à feuilles, céleri-rave, fines herbes fraîches, blé	valeur limite
Cd	0.1	autres céréales, tubercules, racines, légumes-tiges	valeur limite
Cd	0.05	autres légumes et fruits	valeur limite
Pb	0.3	légumes à feuilles, choux	valeur limite
Pb	0.2	céréales, légumineuses, baies	valeur limite
Pb	0.1	autres légumes et autres fruits	valeur limite
Tl	0.1	légumes, baies, fruits à pépins, fruits à noyau	valeur de tolérance
benzo(a)pyrène (provenant de contaminations environnementales)	0.001	légumes, baies, fruits à pépins, fruits à noyau	valeur de tolérance
polychlorobiphényle	0.1	aliments végétaux	valeur limite

Considérer les données de la liste OSEC dans sa version actuelle.

Le plus souvent, l'OSEC n'indique qu'une des deux valeurs pour les polluants pertinents. Les teneurs maximales se rapportent, sauf précision contraire, au poids des plantes fraîches ou de leurs parties comestibles lavées ou nettoyées (sans terre ni poussière). Selon l'art. 188 de l'*Ordonnance du 1<sup>er</sup> mars 1995 sur les denrées alimentaires (ODAI, RS 817.02)* sont classées sous la dénomination «légumes» les plantes ou parties de plante qui servent à l'alimentation humaine.

Si l'OSEC indique pour une substance la valeur de tolérance et la valeur limite, c'est cette dernière qui est adoptée pour l'évaluation de la menace, car c'est seulement au-delà de cette valeur que la santé de l'homme est menacée. Si l'OSEC n'indique aucune valeur maximale pour un polluant donné, il est possible de se référer à des valeurs réglementées similaires à l'étranger, par exemple teneurs maximales admises à l'UE (cf. chap. 9, indications supplémentaires). Sur le plan international, des valeurs limites dans le domaine de l'alimentation sont fixées seulement pour le



Cd et le Pb (cf. chap. 4.1.2, facteur toxicité T, et annexe 9). Pour d'autres renseignements, s'adresser au chimiste cantonal.

#### Catégories de risque

Le classement dans une catégorie se fait selon le tableau 10. Un dépassement de la concentration maximale admise par l'OSEC a pour conséquence le classement sous « menace concrète ». La catégorie « menace concrète potentielle » est déterminée par une valeur dépassant la moyenne entre une plante non polluée ( $c_{normal}$ ) et la concentration maximale (concentration significativement élevée).

Les teneurs des végétaux en substances polluantes dans des zones non polluées sont indiquées dans le tableau 11. Des données supplémentaires peuvent être obtenues en cas de besoin auprès de l'Office fédéral de la santé publique (OFSP, section Toxicologie alimentaire).

La menace est estimée pour chaque espèce de plante examinée et pour chaque substance polluante pertinente. Les valeurs concernant les espèces végétales qui accumulent des polluants de façon très différente sont utiles pour définir les mesures à prendre, en particulier les recommandations d'exploitation (cf. chap. 8.2).

#### Indications concernant les risques selon la législation sur les denrées alimentaires

Selon le droit sur les sols, une menace est toujours concrète si, tôt ou tard, selon le cours normal des choses, elle devient une réalité, c'est-à-dire s'il apparaît un dommage pour la santé et pour l'environnement. Le terme menace est traité de la même manière en droit alimentaire pour ce qui concerne la santé: ainsi on peut parler de menace lorsqu'il y a dépassement d'une valeur limite (cf. art. 10 et 47 de la loi sur les denrées alimentaires). Un dépassement de valeur limite signifie dans tous les cas, selon l'art. 2 de l'ordonnance sur les substances étrangères et les composants (OSEC), que la denrée n'est pas consommable. Si les valeurs de tolérance sont dépassées, il n'existe pas de mise en danger de la santé, le terme « menace » selon le présent manuel signifie qu'aucune denrée alimentaire licite provenant de la culture en question ne peut être produite sur ce sol.

Tableau 10: Catégories de risque pour les cultures alimentaires.

Pollution	Catégorie de risque
$c_{mesuré} < \frac{c_{normal} + c_{valeur\ max.}}{2}$	pas de menace concrète
$\frac{c_{normal} + c_{valeur\ max.}}{2} \leq c_{mesuré} < c_{valeur\ max.}$	menace concrète potentielle
$c_{mesuré} \geq c_{valeur\ max.}$	menace concrète

c = concentration par rapport au poids frais. Données concernant  $c_{normal}$ : cf. tableau 11.

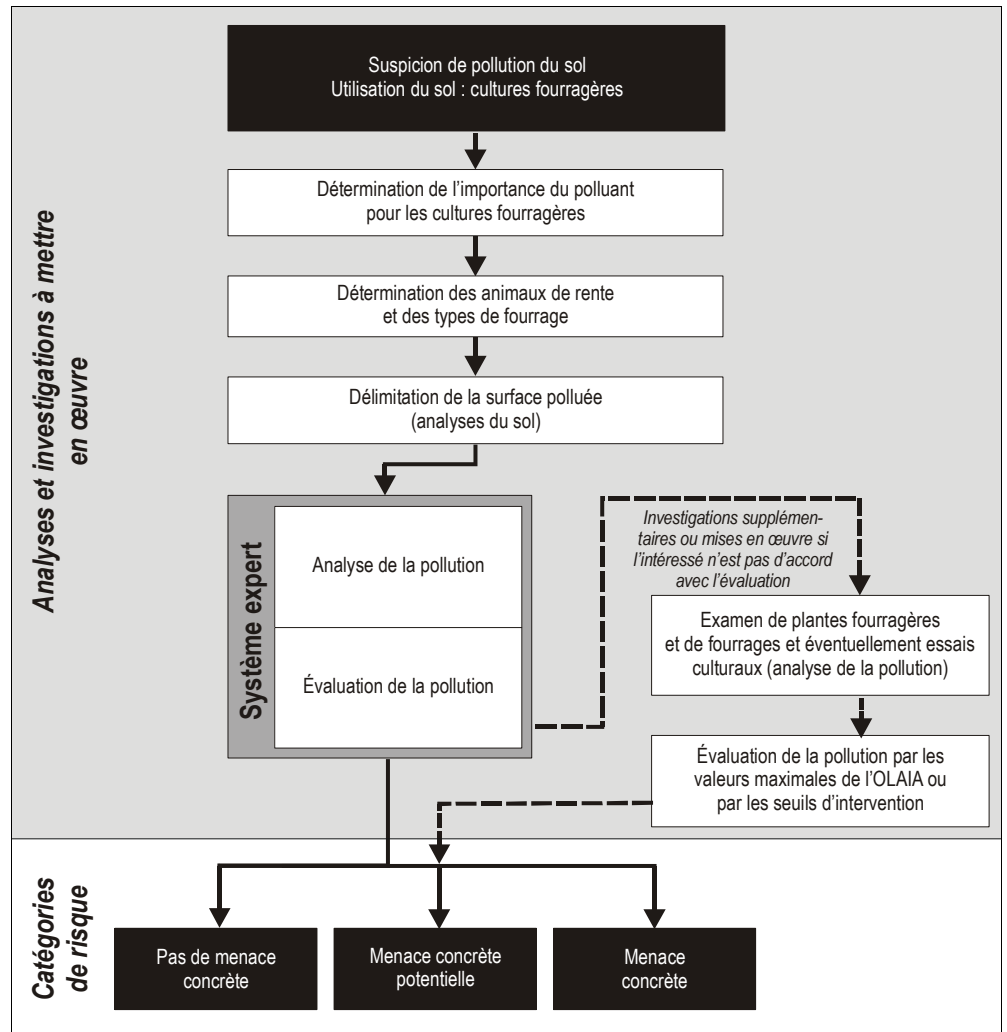
Tableau 11 : Teneur en polluants des plantes alimentaires propres (en mg/kg poids frais).

Plantes alimentaires	As	Cd	Co	Cr	Cu	F	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Tl	Zn
<i>Céréales</i>															
orge (grain)	0.07	0.04	0.05	0.26	4.4	2.6	0.02	0.5	0.4	0.08	0.02	0.04	0.2	0.04	35
avoine (grain)	0.10	0.05	0.08	0.39	6.5	2.6	0.03	0.8	0.7	0.16	0.03	0.05	0.3	0.05	52
seigle (grain)	0.03	0.03	0.03	0.13	2.2	2.6	0.01	0.3	0.2	0.08	0.01	0.02	0.1	0.02	17
blé (grain)	0.10	0.05	0.08	0.39	6.5	2.6	0.03	0.8	0.7	0.16	0.03	0.05	0.3	0.05	52
<i>Racines et tubercules</i>															
carotte	0.01	0.01	0.010	0.05	0.9	0.4	0.004	0.1	0.09	0.02	0.004	0.007	0.04	0.007	7
pomme de terre	0.02	0.009	0.010	0.07	1.1	0.7	0.004	0.1	0.1	0.03	0.004	0.009	0.04	0.009	9
céleri-rave	0.01	0.007	0.010	0.05	0.8	0.3	0.003	0.1	0.08	0.02	0.003	0.007	0.03	0.007	7
chou-rave	0.01	0.003	0.005	0.02	0.4	0.2	0.002	0.05	0.04	0.01	0.002	0.003	0.02	0.003	3
radis noir	0.01	0.003	0.004	0.02	0.4	0.2	0.001	0.04	0.04	0.01	0.001	0.003	0.01	0.003	3
radis	0.01	0.002	0.004	0.02	0.3	0.2	0.001	0.04	0.03	0.01	0.001	0.002	0.01	0.002	3
betterave rouge	0.01	0.004	0.007	0.03	0.6	0.3	0.002	0.07	0.06	0.01	0.002	0.004	0.02	0.004	4
salsifis	0.01	0.008	0.006	0.03	0.5	0.6	0.002	0.06	0.05	0.03	0.002	0.004	0.02	0.008	4
<i>Bulbes</i>															
Bulbes	0.01	0.007	0.010	0.05	0.8	0.3	0.003	0.1	0.08	0.02	0.003	0.007	0.03	0.007	7
poireau	0.01	0.002	0.004	0.02	0.3	0.4	0.001	0.04	0.03	0.01	0.001	0.002	0.01	0.002	2
<i>Légumes-fruits</i>															
aubergine	0.01	0.001	0.002	0.02	0.2	0.2	0.001	0.04	0.02	0.01	0.001	0.001	0.01	0.001	1
concombre	0.01	0.001	0.001	0.01	0.1	0.1	0.001	0.01	0.01	0.01	0.001	0.001	0.01	0.001	1
courge	0.01	0.002	0.003	0.01	0.2	0.3	0.001	0.03	0.02	0.01	0.001	0.002	0.01	0.002	2
poivron	0.01	0.002	0.003	0.01	0.2	0.3	0.001	0.03	0.02	0.01	0.001	0.002	0.01	0.002	2
tomate	0.01	0.001	0.002	0.01	0.2	0.2	0.001	0.02	0.02	0.01	0.001	0.001	0.01	0.001	2
courgette	0.01	0.001	0.002	0.01	0.1	0.2	0.001	0.02	0.01	0.01	0.001	0.001	0.01	0.001	1
maïs comestible	0.01	0.005	0.008	0.04	0.6	0.8	0.003	0.08	0.06	0.02	0.003	0.005	0.03	0.005	5
<i>Légumes à feuilles</i>															
chou-fleur	0.01	0.003	0.005	0.02	0.4	0.2	0.002	0.05	0.04	0.01	0.002	0.003	0.02	0.003	3
brocoli	0.01	0.004	0.003	0.02	0.3	0.3	0.001	0.03	0.03	0.01	0.001	0.002	0.01	0.004	2
cresson d'eau	0.01	0.004	0.006	0.03	0.5	0.2	0.002	0.06	0.05	0.01	0.002	0.004	0.02	0.004	4
chou chinois	0.01	0.002	0.003	0.02	0.3	0.2	0.001	0.03	0.03	0.01	0.001	0.002	0.01	0.002	2
scarole	0.01	0.004	0.005	0.03	0.5	0.2	0.002	0.05	0.05	0.01	0.002	0.004	0.02	0.004	4
rampon, doucette, mâche	0.01	0.004	0.006	0.03	0.5	0.2	0.002	0.06	0.05	0.01	0.002	0.004	0.02	0.004	4
cresson alénois	0.02	0.008	0.010	0.06	1.0	0.4	0.004	0.2	0.1	0.02	0.004	0.008	0.04	0.008	8
chou frisé	0.01	0.006	0.008	0.04	0.7	0.4	0.003	0.08	0.07	0.02	0.003	0.006	0.03	0.008	6
laitue	0.01	0.003	0.005	0.02	0.4	0.2	0.002	0.05	0.04	0.01	0.002	0.003	0.02	0.003	3
lollo rouge	0.01	0.006	0.009	0.05	0.8	0.3	0.003	0.09	0.08	0.02	0.003	0.006	0.03	0.006	6
bette	0.01	0.005	0.007	0.04	0.6	0.2	0.002	0.07	0.06	0.01	0.002	0.005	0.02	0.005	5
choux de Bruxelles	0.01	0.003	0.005	0.02	0.4	0.5	0.002	0.05	0.04	0.02	0.002	0.003	0.02	0.003	3
chou rouge	0.01	0.003	0.005	0.02	0.4	0.2	0.002	0.05	0.04	0.01	0.002	0.003	0.02	0.003	3
épinard	0.01	0.005	0.007	0.04	0.6	0.2	0.002	0.07	0.06	0.01	0.002	0.005	0.02	0.005	5
chou blanc	0.01	0.003	0.005	0.02	0.4	0.2	0.002	0.05	0.04	0.01	0.002	0.003	0.02	0.003	3
chou de Milan	0.01	0.004	0.006	0.03	0.5	0.3	0.002	0.06	0.05	0.01	0.002	0.004	0.02	0.004	4
<i>Légumes-tiges</i>															
céleri-branche	0.01	0.004	0.002	0.01	0.2	0.2	0.001	0.02	0.02	0.01	0.001	0.001	0.01	0.003	1
<i>Légumineuses</i>															
haricots	0.01	0.002	0.003	0.02	0.3	0.3	0.001	0.03	0.03	0.01	0.001	0.002	0.01	0.002	2
petits pois	0.01	0.005	0.007	0.04	0.6	0.7	0.002	0.07	0.06	0.01	0.002	0.005	0.02	0.005	5
colza	0.01	0.002	0.003	0.02	0.3	0.3	0.001	0.03	0.03	0.01	0.001	0.002	0.01	0.006	2
<i>Fruits</i>															
Baies, général	0.01	0.003	0.004	0.02	0.3	0.4	0.001	0.04	0.03	0.01	0.001	0.003	0.01	0.003	3
Fruits à pépins, général	0.01	0.003	0.005	0.02	0.4	0.5	0.002	0.05	0.04	0.01	0.002	0.003	0.02	0.003	3
Fruits à noyau, général	0.01	0.003	0.005	0.02	0.4	0.5	0.002	0.05	0.04	0.01	0.002	0.003	0.02	0.003	3

Données tirées de IPE (1994), BLUME (1992), WENK *et al.* (1997), DELSCHEN & KÖNIG (1998), Gisi *et al.* (1990); conversion de matière sèche (MS) en poids frais par utilisation de la teneur en eau de plantes alimentaires selon OFEFP (1997a; p. 95 et ss).

# 5 Évaluation de la menace pour les cultures fourragères

Figure 5: Procédure pour évaluer la menace sur les cultures fourragères.  
[OLAIA: Ordonnance sur le livre des aliments pour animaux; RS 916.307.1].



## 5.1 Système expert « cultures fourragères »

### 5.1.1 Bases

Le système expert «cultures fourragères» permet une analyse simplifiée de la menace dans ce domaine. Il est conçu pour les concentrations en substances polluantes comprises entre seuil d'investigation et valeur d'assainissement (champ d'investigation) et n'est appliqué que dans cette fourchette.

Le système expert tient compte des facteurs suivants qui agissent sur le transfert des polluants sol (→ plante) → animal de rente :

- part de polluants mélangés au sol ingérée par voie orale et selon le type de fourrage ;
- propriétés spécifiques du polluant ;
- propriétés du sol, soient pH, teneur en matières organiques et en argile ;
- caractéristiques d'absorption différentes selon les espèces végétales ;
- sensibilité différente selon l'animal considéré.

Les valeurs maximales mentionnées dans *l'ordonnance sur le livre des aliments pour animaux* (OLAIA ; cf. tab. 12 et chap. 5.2.2) servent de références pour l'appréciation de la teneur en substances polluantes des plantes fourragères. De plus, les valeurs critiques pour les fourrages selon BLUME (1992) peuvent être retenues à titre de valeurs d'appréciation lorsque les teneurs maximales de ces substances ne sont pas prescrites par l'OLAIA. Il en va de même pour les composants des aliments simples pour lesquels l'OLAIA ne prescrit des teneurs maximales que pour la totalité de l'aliment.

Tableau 12 : Teneurs maximales typiques selon l'OLAIA [état juillet 2004] et valeurs critiques pour fourrages selon BLUME (1992).

Substances	Teneur maximale OLAIA [mg/kg pour 88 % matière sèche]	Valeurs critiques pour fourrages selon BLUME (1992) [mg/kg matière sèche]
As	2	–
Cd	1	–
Cr	–	50–3000
Co	2*	10–50
Cu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bovins (consommant des fourrages grossiers) : 35*</li> <li>• moutons : 15*</li> </ul>	30–100
F	150	–
Hg	0.1	–
Mo	2.5*	10–58
Ni	–	50–60
Pb	40 (fourrages verts)	–
Se	0.5*	4–5
Tl	–	1–5
Zn	150*	300–1000
somme PCDD/F [ng TEQ selon OMS]	0.75	–

\* Teneur maximale pour la totalité des fourrages. TEQ = équivalent de toxicité ; cf. annexe 2G. Pour les valeurs de l'OLAIA, si disponibles, ce sont les valeurs pour les aliments simples estimés les plus pertinents qui ont été introduites. Il faut considérer les valeurs dans l'édition de l'OLAIA en vigueur. Si les valeurs critiques selon BLUME (1992) sont prises en considération à titre de valeur d'appréciation, il faut utiliser les valeurs inférieures de la plage indiquée.

Comme la contamination des végétaux par les polluants organiques s'effectue en grande partie par dépôt atmosphérique (BLUME 1992, OFEFP 1997b, DELSCHEN *et al.* 1999, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002) et que les données sur le transfert sol-plante ne sont pas suffisantes, le système expert se limite, dans son ensemble, aux substances inorganiques. Le risque provenant de l'ingestion directe ou par des souillures terreuses peut cependant être aussi calculé pour les substances organiques lorsque l'OLAIA prescrit des teneurs maximales pour les substances concernées. Cette part est indépendante du transfert sol-plante et devrait le plus souvent représenter la majeure partie de l'absorption de polluants par les animaux de rente.

### 5.1.2 Analyse de la pollution

Le système expert utilise une notation par points pour l'évaluation. Les facteurs d'influence (sol ingéré, pollution, mobilité, espèce végétale et toxicité) se voient attribuer un certain nombre de points qui sont additionnés pour donner un total (*indice de menace I*). Plus le total est élevé, plus la menace est grande.

#### *Indice de menace I*

Calcul de l'indice de menace :

$$I = S + P + M + V + T \quad (\text{F5.1})$$

<i>I</i>	<i>indice de menace</i>
<i>S</i>	<i>facteur sol ingéré</i>
<i>P</i>	<i>facteur pollution pour le transfert sol-plante (absorption par les racines ; entre 0 et 8 points)</i>
<i>M</i>	<i>facteur mobilité (entre 0 et 6 points)</i>
<i>V</i>	<i>facteur espèce végétale (entre 0 et 2 points)</i>
<i>T</i>	<i>facteur de correction toxicité (entre 0 et 4 points).</i>

Le facteur S «sol ingéré» concerne la pollution qui, pour l'alimentation concernée, se produit par ingestion par voie orale, absorption directe de terre ou de polluants du sol. Les facteurs P, M, V et T se rapportent au transfert sol-plante (absorption par les racines).

La part absorbée par les racines est importante par rapport à l'ingestion directe par voie orale de terre ou de polluants mélangés au sol, elle est même supérieure pour les éléments Cd, Cu et Zn (cf. ann. 9B).

Pour les éléments As, Pb, Cr, Ni et Hg, la part absorbée par les racines est généralement négligeable. Pour l'évaluation de la menace, il suffit donc de calculer le facteur S «sol ingéré». Les autres facteurs reçoivent alors la valeur 0.

Pour les autres substances (p. ex. F, Co, Mo, Se), le transfert sol-plante est moins connu. Les indices de menace sont ici calculés avec une méthode simplifiée (cf. équation F5.4).

Les différents facteurs sont déterminés comme suit :

**Facteur sol ingéré S**

Calcul du facteur S «sol ingéré» :

$$S = 8 \times \frac{C_{sol}}{TM} \times \frac{vo}{100} \quad (F5.2)$$

<i>S</i>	<i>facteur sol ingéré (points)</i>
<i>C<sub>sol</sub></i>	<i>pollution du sol ([mg/kg]; «teneur totale» selon OSol)</i>
<i>TM</i>	<i>teneur maximale de l'aliment (normalement valeur pour aliments simples) pour l'animal de rente concerné selon l'OLAIA ([mg/kg]; cf. tab. 12)</i>
<i>vo</i>	<i>sol ingéré / souillures terreuses ingérées par voie orale avec l'aliment concerné, en % de la quantité totale de fourrage (cf. tab. 13).</i>

Là où l'OLAIA indique des teneurs maximales aussi bien pour les aliments complets que pour les aliments simples, il est préconisé d'utiliser en règle générale la teneur maximale valable pour ces dernières. En effet, la nourriture provenant de la surface polluée ne correspond normalement qu'à une partie de la totalité de l'aliment, ce qui permet de l'assimiler à un aliment simple.

Dans le système expert, la valeur moyenne de la condition «sol sec» doit être introduite pour le facteur *vo* (ingestion de sol par voie orale; cf. tab. 13), car il s'agit du cas normal. Les teneurs maximales selon l'OLAIA sont établies en fonction d'une absorption de polluants sur le long terme. Une ingestion plus importante de courte durée en condition détrempée ne pose pas de problème immédiat. Les calculs de risque par «sol détrempé» devraient cependant être faits pour pouvoir recommander aux agriculteurs à quel moment procéder à la récolte ou mener les animaux au pâturage.

Tableau 13 : Sol ingéré par voie orale (vo) par les animaux de rente – directement pendant la pâture ou par des souillures terreuses du fourrage.\*

Culture	Sol ingéré par voie orale (vo) directement ou par des polluants mélangés à la terre				Pourcentage maximal de plantes fourragères dans l'aliment sur une longue période	
	[en % de la consommation ; MS]				[%]	
	Bovin		Mouton		Bovin	Porc
	Conditions durant le pacage / la récolte					
	Sol sec	Sol détrempé	Sol sec	Sol détrempé		
Consommation directe (pacage, herbe fraîche)	0–5	5–10	10–15	20–30	100	–
Herbe de fauche / d'ensilage	0–5	10–15	0–5	10–15	–	–
Foin	0–3	5–10	0–3	5–10	100	–
	Contamination de la récolte par des particules de sol : part de sol (vo)					
	[% de la récolte-MS]					
Céréales fourragères (sans féveroles):	0				40	80
• Orge	0				–	40
• Avoine	0				–	–
• Blé	0				–	40
• Maïs grain	0				–	30
Féveroles Pois protéagineux	faible (environ 0–2)				15	20
Betteraves fourragères	10				30	40
Pommes de terre	faible (environ 0–2)				20	30
Maïs plante entière	faible (environ 0–2)				80	15

\* Données obtenues de la Station fédérale de recherches en production animale (Agroscope ALP Posieux). Les chiffres se rapportent à la part effectivement absorbée par les animaux. La proportion dans l'aliment peut occasionnellement être plus élevée. Les aliments particulièrement riches en polluants ne sont souvent pas consommés par les animaux, mais laissés de côté. Les indications sur la quantité de terre absorbée par les moutons proviennent de ABRAHAMS & STEIGMAJER (2003). Les deux colonnes de droite sont importantes pour les évaluations de menace détaillées par utilisation de valeurs seuils (cf. annexe 4).

### **Facteur pollution P pour transfert sol–plante (absorption par les racines)**

Le facteur pollution P est calculé comme suit :

$$P = 8 \times \frac{C_{sol} - SI}{VA - SI} \quad (F5.3)$$

- P* facteur pollution pour transfert sol–plante (absorption par les racines)  
*C<sub>sol</sub>* pollution du sol ([mg/kg] ; « teneur totale » selon OSol)  
*SI* seuil d'investigation pour cultures fourragères selon OSol [mg/kg]  
*VA* valeur d'assainissement pour agriculture et jardinage selon OSol [mg/kg].

**Facteur pollution pour absorption par les racines**

Dans la plupart des cas, la contamination des animaux de rente vient principalement de l'ingestion directe par voie orale de terre ou de souillures terreuses. Cette seule proportion pour un facteur sol ingéré  $\geq 8$  a pour effet que le fourrage des surfaces polluées accuse une teneur en polluants plus élevée que le maximum admis par l'OLAIA. Il est donc inévitable de classer ce risque dans la catégorie «*menace concrète*» (cf. évaluation de la pollution).

Si la pollution du sol correspond au seuil d'investigation, alors  $P = 0$ . Pour la valeur d'assainissement,  $P = 8$ . Entre ces deux limites, le facteur de pollution varie linéairement.

**Facteur mobilité M**

Le facteur mobilité est déterminé de la même manière que pour le système expert pour les plantes alimentaires (cf. chap. 4.1.2).

**Facteur espèce végétale V**

Le tableau 14 présente le facteur espèce végétale de différentes plantes fourragères. Si aucune donnée sur l'espèce végétale concernée ne figure dans ce tableau et s'il n'est pas possible de trouver des données à partir d'autres sources, il faut supposer une valeur d'absorption moyenne de polluants par les plantes. Ensuite, il faut vérifier l'effet qu'une absorption élevée par le végétal aurait sur le résultat de l'évaluation de la menace.

Tableau 14 : Facteurs espèce plante fourragère et polluants inorganiques.

Plante fourragère	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Tl	Zn
Orge (grain)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Herbe, général	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Avoine (grain)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Pomme de terre	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Luzerne	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Maïs (grain)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Seigle (grain)	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Blé (grain)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Betterave sucrière (feuille)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

0 = faible absorption      1 = absorption moyenne      2 = absorption élevée  
 Données tirées de BLUME (1992), IPE (1994), WENK *et al.* (1997), DELSCHEN & KÖNIG (1998). En cas de données différentes selon les sources mentionnées, c'est la valeur la plus élevée qui a été sélectionnée.



### **Facteur de correction T**

Le risque présenté par une substance ne dépend pas seulement de son transfert dans la plante, mais aussi de sa toxicité pour les animaux de rente. Par conséquent, le facteur de correction T est une mesure de la relation entre les quantités de substance absorbées par les plantes et la teneur maximale admise par l'OLAIA (cf. chap. 4.2.2). Les teneurs maximales sont une mesure de la toxicité des substances. Pour le Cd, le Cu et le Zn, le facteur de correction T a été établi à l'aide d'une méthode statistique sur la base d'un grand nombre de mesures de la concentration en polluants du sol et des plantes (cf. annexe 9B).

Tableau 15: Facteurs de correction T pour substances inorganiques (cultures fourragères).

Substance	Cd	Cu	Zn
Facteur de correction T*	3	0	1

\* Facteur de correction T déterminé à l'aide d'une méthode statistique.

### **Procédure simplifiée pour F, Co, Mo, Se**

#### **Analyse simplifiée de la pollution pour d'autres substances**

Quand l'OLAIA prescrit des teneurs maximales, mais que le transfert sol-plante des substances est mal connu (p. ex. F, Co, Mo, Se), les indices de menace I peuvent être calculés avec l'équation suivante:

$$I = S + \left[ 8 \times \frac{C_{sol}}{TM} \times CT \right] \quad (F5.4)$$

*I* indice de menace

*S* facteur « part du sol » (points), calculé avec l'équation (F5.2)

*C<sub>sol</sub>* pollution du sol ([mg/kg]; « teneur totale » selon OSol)

*TM* teneur maximale de l'aliment selon OLALA (en règle générale valeur pour aliments simples) pour l'animal de rente concerné selon l'OLAIA ([mg/kg]; cf. tab. 12)

*CT* coefficient de transfert sol-plante (exemple dans tab. 16).

Le coefficient de transfert sol-plante ne peut être indiqué qu'à titre de fourchette plutôt large (cf. tab. 16). Pour une estimation approximative de la pollution, il faut d'abord introduire dans l'équation (F5.4) une valeur moyenne du coefficient de transfert, puis contrôler les effets des coefficients de transfert plus élevés.

Tableau 16: Coefficients de transfert sol-plante pour F, Co, Mo et Se.

Substance	F	Co	Mo	Se
Coefficient de transfert sol-plante	0.01–0.1	0.01–0.1	0.1–10	0.1–10

Données selon BLUME (1992).

### 5.1.3 Évaluation de la pollution

#### Catégories de risque

Les indices de menace calculés avec l'équation (F5.1) et (F5.4) déterminent les catégories de risque selon tableau 17.

Tableau 17: Catégories de risque selon le système expert pour les cultures fourragères.

Indice de menace $I = S + P + M + V + T$	<5	5-<8	≥8
Catégories de risque pour: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Co*, F*, Se*, Mo *	pas de menace	menace concrète potentielle	menace concrète

\* Incertitudes de l'évaluation de la menace à estimer sont plus grandes que pour les autres substances, car l'absorption de ces éléments par les végétaux est moins connue et leur comportement dans le sol est très complexe (p. ex. plusieurs niveaux d'oxydation pour Mo et Se).

Une étude de cas utilisant ce système expert est présentée dans l'annexe 1B. L'emploi est simplifié par des *tableurs préétablis* pour les utilisations «cultures fourragères».<sup>4</sup>

## 5.2 Évaluation détaillée de la menace dans les cultures fourragères

#### Spécialiste

Il est recommandé de faire appel à un spécialiste en agriculture pour effectuer les études détaillées dans les cultures fourragères.

### 5.2.1 Analyse de la pollution

#### Études concernant les plantes fourragères

La teneur des plantes fourragères en polluants provenant du sol doit être déterminée. Pour les prairies de fauche, pâturages et pâturages de fauche, il est possible d'analyser la teneur en polluants des plantes fourragères qui y ont poussé. Pour les champs cultivés qui servent à la production de fourrages, il faut tenir compte de l'assolement. Cela peut nécessiter un essai de culture de plantes fourragères sur la surface concernée (cf. annexe 3).

Pour les fourrages qui sont mis dans le commerce, la prise d'échantillons est conforme aux prescriptions légales de l'annexe 9 de l'OLAIA. La recommandation est la même dans d'autres cas.

Voici les méthodes utilisées pour l'analyse de plantes fourragères:

- Méthodes de référence des stations de recherche agricole (AGROSCOPE FAL 1995);
- Manuel pour l'analyse des sols, des plantes et de l'eau de percolation lysimétrique (AGROSCOPE FAL 1998).

<sup>4</sup> cf. format Excel: [http://www.environnement-suisse.ch/thèmes/sol/mise en œuvre de l'OSol→manuel évaluation de la menace](http://www.environnement-suisse.ch/thèmes/sol/mise%20en%20œuvre%20de%20l'OSol/manuel%20évaluation%20de%20la%20menace).

**Pollution par une  
plante fourragère**

**Calcul de la pollution par certaines substances**

La pollution absorbée par les animaux de rente est déterminée à partir de la teneur du sol et des plantes fourragères en substances polluantes. Pour ce faire, il faut regrouper les voies de contamination concernant les cultures fourragères (cf. tab. 2, chap. 3.3.2) selon la formule suivante (variante simplifiée selon OFEFP 1997a, 1998):

$$P_i = v_{o_i} * C_{sol} + C_{fourrage} \quad (F5.5)$$

$P_i$	<i>pollution de l'espèce d'animaux de rente par les plantes fourragères i [mg/kg MS]</i>
$v_{o_i}$	<i>sol ingéré/polluants mélangés au sol dans la plante fourragère i ingéré par voie orale (cf. tab. 13)</i>
$C_{sol}$	<i>pollution du sol ([mg/kg] ; « teneur totale » selon Osol). Profondeur habituelle de la prise d'échantillon: 0–5 cm, en cas de polluants mélangés au sol provenant de végétaux à racines profondes (p. ex. raves): 0–20 cm</i>
$C_{fourrage}$	<i>teneur en polluants dans la plante fourragère [mg/kg MS].</i>

Ces calculs sont effectués pour chaque animale de rente et pour chaque polluant concerné.

**Absorption par  
les racines**

**Indications sur l'influence des voies de contamination**

Lorsque l'animal de rente concerné est exposé surtout par la voie de contamination « racines » (par les plantes elles-mêmes), c'est-à-dire si  $v_{o_i}$  dans l'équation (F5.5) est petit, cela signifie que ce sont les propriétés du sol qui constituent la menace. Pour les substances inorganiques, un pH plus bas, c'est-à-dire une teneur en éléments solubles supérieure, est avant tout le signe d'un risque plus élevé. En présence d'une teneur en calcaire ou d'une capacité d'échange d'ions élevée, le sol a des capacités de tampon ou de sorption, qui diminuent le risque d'apparition d'une menace.

**Ingestion par voie orale**

Si les animaux de rente sont exposés principalement à une ingestion de particules du sol par voie orale, c'est-à-dire quand  $v_{o_i}$  dans l'équation (F5.5) est grand, la menace vient surtout de la teneur totale selon l'OSol.

**5.2.2 Évaluation de la pollution**

**Ordonnances sur les  
aliments**

Les aliments pour animaux sont réglementés par l'OAA et l'OLAIA. L'annexe 2 de l'OLAIA mentionne les teneurs maximales pour des additifs admis dans les aliments pour animaux (p. ex. Co, Cu, Mo, Se, Zn), qui, en forte concentration, peuvent devenir problématiques pour les animaux de rente.

L'annexe 10 de l'OLAIA indique les teneurs maximales pour les substances indésirables dans les aliments pour animaux. Ces teneurs maximales ont été fixées pour les aliments pour animaux mis dans le commerce. Elles peuvent aussi être appliquées aux fourrages qui ne sont pas mis dans le commerce.

## Catégories de risque

Le classement dans une catégorie de risque se fait selon le tableau 18. Un dépassement de la teneur maximale selon l'OLAIA conduit à un classement dans la catégorie « menace concrète ». La catégorie « menace concrète potentielle » concerne les valeurs qui dépassent la valeur moyenne entre celle d'un végétal non pollué ( $c_{normal}$ ) et la teneur maximale prescrite (concentration nettement accrue). Les teneurs en polluants dans les plantes des zones non polluées sont indiquées dans le tableau 19.

Tableau 18 : Catégories de risque pour les cultures fourragères.

Pollution de la plante fourragère	Catégorie de risque
$c_{mesuré} < \frac{c_{normal} + c_{valeur\ max}}{2}$	pas de menace concrète
$\frac{c_{normal} + c_{valeur\ max}}{2} \leq c_{mesuré} < c_{valeur\ max}$	menace concrète potentielle
$c_{mesuré} \geq c_{valeur\ max}$	menace concrète

c = concentration par rapport à la matière sèche. Indication concernant  $c_{normal}$  : cf. tableau 19.

Tableau 19 : Teneurs en polluants des plantes fourragères propres (en mg/kg MS).

Plantes fourragères	As	Cd	Co	Cr	Cu	F	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Tl	Zn
Orge (grain)	0.08	0.05	0.06	0.29	4.8	2.9	0.02	0.6	0.5	0.1	0.02	0.04	0.2	0.04	38
Herbe, général	0.01	0.01	0.01	0.03	0.5	0.3	0.001	0.01	0.1	0.1	0.01	0.01	0.01	0.02	4
Avoine (grain)	0.11	0.06	0.09	0.43	7.2	2.9	0.03	0.9	0.8	0.2	0.03	0.06	0.3	0.06	58
Pommes de terre	0.08	0.04	0.04	0.29	4.5	2.9	0.017	0.4	0.4	0.4	0.04	0.04	0.17	0.04	37
Luzerne	0.01	0.01	0.01	0.03	0.5	0.3	0.001	0.01	0.1	0.1	0.01	0.01	0.01	0.02	4
Maïs (grain)	0.04	0.04	0.04	0.17	2.5	3.3	0.004	0.04	0.4	0.4	0.08	0.04	0.04	0.12	21
Seigle (grain)	0.03	0.03	0.03	0.14	2.4	2.9	0.01	0.3	0.2	0.1	0.01	0.02	0.1	0.02	19
Blé (grain)	0.11	0.06	0.09	0.43	7.2	2.9	0.03	0.9	0.8	0.2	0.03	0.06	0.3	0.06	58
Betterave sucrière (feuille)	0.01	0.01	0.01	0.05	0.8	0.3	0.001	0.01	0.1	0.1	0.02	0.01	0.01	0.03	6

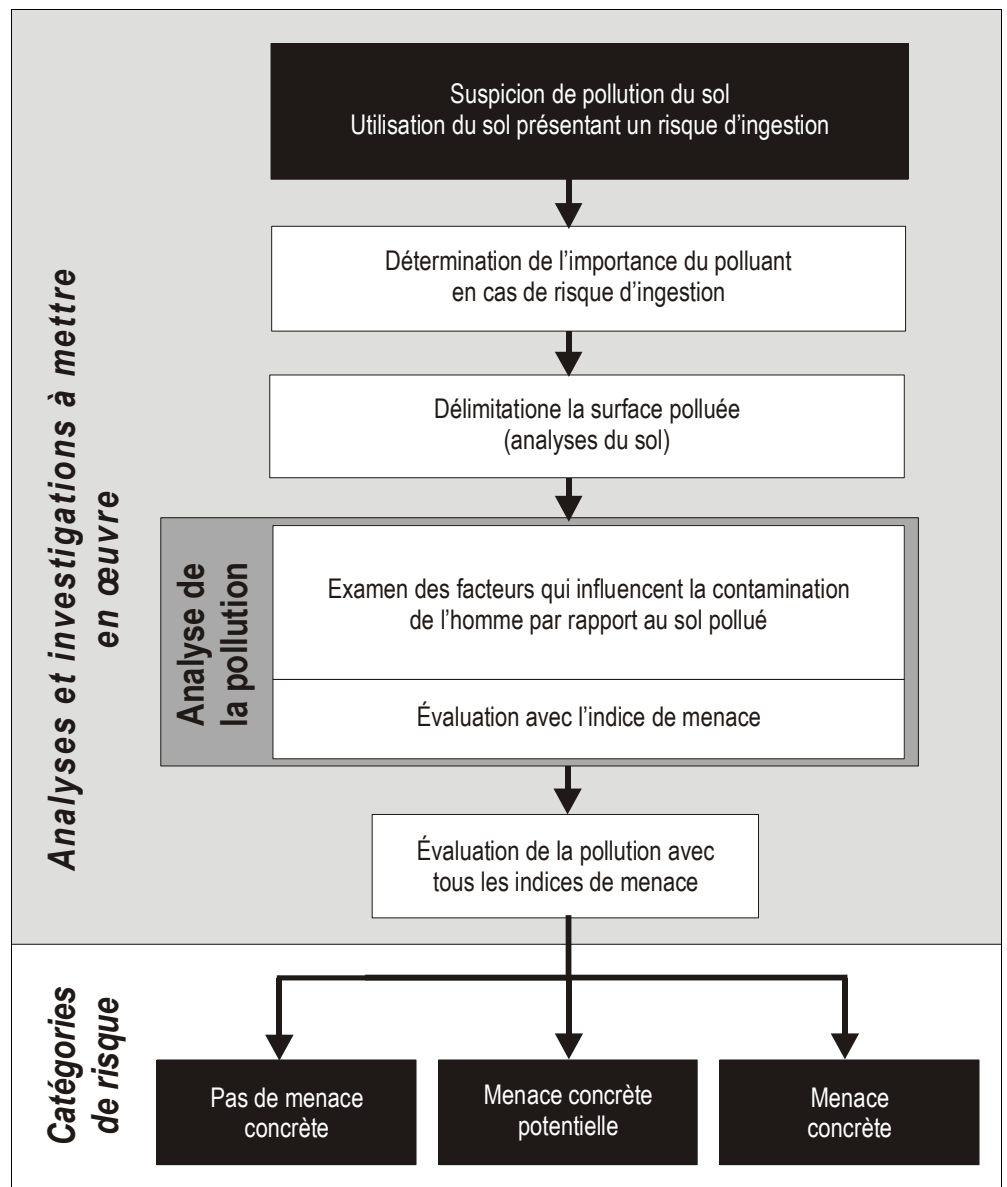
Données tirées de IPE (1994), BLUME (1992), WENK *et al.* (1997), DELSCHEN & KÖNIG (1998), Gisi *et al.* (1990).

La menace est évaluée pour chaque plante examinée et pour chaque polluant pertinent. Les valeurs concernant les espèces végétales qui accumulent la substance polluante de façon différenciée sont utiles pour aménager des mesures de protection, comme par exemple les recommandations concernant l'utilisation du sol (cf. chap. 8.2).

Si l'OLAIA ne prescrit pas de teneurs maximales pour les polluants concernés, et s'il n'existe pas de critère d'évaluation connu, il est alors possible de se référer aux seuils prescrits pour les aliments pour animaux (cf. annexe 4).

# 6 Évaluation de la menace en cas d'utilisation du sol avec risque par ingestion

Figure 6 : Procédure pour évaluer la menace en cas d'utilisation du sol avec risque par ingestion (une évaluation détaillée du risque n'est pas proposée, car quasi impossible ; cf. chap. 6.2).



## **6.1 Système expert « utilisation du sol avec risque par ingestion »**

### **6.1.1 Bases**

Le système expert « utilisation du sol avec risque par ingestion » permet une analyse simplifiée pour ce type d'utilisation pour les concentrations en polluants comprises entre seuils d'investigation et valeurs d'assainissement (champ d'investigation) et n'est appliqué que dans cette fourchette. Il est basé sur la teneur totale du polluant considéré, car c'est le sol qui est ingéré en entier.

Le système expert tient compte en plus des facteurs suivants qui agissent sur le transfert des polluants sol → homme :

- âge des utilisateurs de la surface polluée ;
- fréquence d'utilisation ;
- couverture végétale.

Le système expert est utilisable pour les aires de jeux, jardins privés et familiaux. D'autres utilisations (p. ex. terrains de sport, espaces verts en zone industrielle) sont examinées au cas par cas.

### **6.1.2 Analyse de la pollution**

#### *Examen des conditions locales*

Pour évaluer la pollution, il est nécessaire de faire un relevé des conditions locales qui influencent les atteintes à l'homme par les substances polluantes imprégnant le sol :

- taille de la surface polluée ;
- grandeur de la totalité de la surface utilisée ;
- utilisation, par exemple terrains de jeux pour enfants (jardin d'enfants, école, aire de jeux, parc, place de jeux type Robinson, etc.), jardins privés et familiaux ;
- utilisateurs, c'est-à-dire utilisateurs réguliers ou occasionnels (cercle de personnes ouvert ou fermé), âge des utilisateurs (très jeunes enfants, petits enfants, enfants, adolescents, adultes) ;
- fréquence et durée d'utilisation ;
- couverture de végétation (degré de couverture, tableaux comparatifs ; cf. ann. 6) ;
- possibilités de changer le type de végétation ;
- interdiction d'accès, obstacles naturels ou artificiels.

Le formulaire sur les utilisations avec risque par ingestion (cf. annexe 7) sert au relevé de ces données. Les informations qui ne sont pas directement introduites dans le système expert sont utiles pour l'évaluation des paramètres (cf. chap. 8.1.2).

### **Indice de menace I**

Le système expert utilise une notation par points pour l'évaluation. Les facteurs d'influence (pollution, âge des utilisateurs, fréquence d'utilisation et couverture végétale) se voient attribuer un certain nombre de points sur la base des données collectées. Ces points sont additionnés pour donner un total (indice de menace I). Plus le total est élevé, plus la menace est grande:

$$I = P + A + F + C \quad (\text{RI6.1})$$

- I* indice de menace
- P* facteur pollution (entre 0 et 5 points)
- A* facteur âge (entre 0 et 3 points)
- F* facteur fréquence (entre 0 et 2 points)
- C* facteur couverture végétale (entre 0 et 2 points).

### **Facteur pollution P**

#### **Facteur pollution**

Le facteur pollution P est une mesure de la concentration du sol en substances polluantes. Si la pollution correspond au seuil d'investigation, alors P = 0. Pour la valeur d'assainissement, P = 5. Entre ces deux valeurs, le facteur de charge polluante augmente linéairement:

$$P = 5 \times \frac{C_{sol} - SI}{VA - SI} \quad (\text{RI6.2})$$

- P* facteur pollution (points)
- C<sub>sol</sub>* pollution du sol ([mg/kg]; «teneur totale» selon OSol)
- SI* seuil d'investigation pour risque par ingestion selon OSol [mg/kg]
- VA* valeur d'assainissement pour aire de jeux et pour jardins privés et familiaux [mg/kg].

### **Facteur âge A**

#### **Facteur âge**

Les enfants en bas âge sont particulièrement exposés à une pollution par des substances, car, lorsqu'ils jouent à même le sol, ils peuvent absorber des quantités relativement importantes de terre par contact main-bouche. Les adultes, en revanche, n'absorbent quasiment pas de terre (à la rigueur par inhalation) et leur poids corporel est supérieur. C'est pourquoi leur sensibilité est moins grande (cf. tab. 20).

Tableau 20: Facteur âge A.

Classe d'âge	Âge	Facteur âge A
Enfants en bas âge	moins de 3 ans	2
Jeunes enfants	de 3 à 6 ans	1
Enfants	de 6 à 12 ans	0
Adolescents et adultes	plus de 12 ans	0

**Facteur fréquence****Facteur fréquence F**

Plus une surface polluée est utilisée, plus la menace est grande (cf. tab. 21). Par utilisation, il faut comprendre le fait de se trouver sur les lieux.

Tableau 21 : Facteur fréquence F.

Fréquence d'utilisation	Facteur fréquence F
Plus de deux fois par semaine	2
Une à deux fois par semaine	1
Moins d'une fois par semaine	0

**Facteur couverture végétale****Facteur couverture végétale C**

La pollution est également fonction de la couverture végétale d'une surface. Une couche de végétaux couvrant la surface diminue le danger en limitant le contact direct avec le sol. Une bonne protection par la végétation n'est cependant assurée que lorsque le degré de couverture est relativement élevé, car l'expérience montre que les enfants jouent volontiers sur des surfaces dénudées. Il faut évaluer jusqu'à quel point la couche de végétation empêche le contact direct avec le sol (cf. tab. 22). Souvent le sol est aussi atteignable sous les arbres et buissons, s'il n'est pas protégé par de la végétation basse. Le tableau de l'annexe 6 indique comment évaluer le degré de couverture.

Tableau 22 : Facteur couverture végétale C.

Couverture	Degré de couverture	Facteur couverture végétale C
Faible	<75 %	2
Moyenne	75-90 %	1
Bonne	>90 %	0

**6.1.3 Évaluation de la pollution**

Les catégories de risque sont classées en fonction des indices de menace indiqués dans le tableau 23.

Tableau 23 : Catégories de risque selon système expert en cas de risque par ingestion.

Indice de menace $I = P + A + F + C$	<3	3-<5	≥5
Catégorie de risque pour enfants de moins de 12 ans	pas de menace	menace concrète potentielle	menace concrète
Catégorie de risque pour adolescents (plus de 12 ans) et adultes	pas de menace	menace concrète potentielle	menace concrète potentielle



Le classement en catégories de risque n'est pas le même pour les enfants et pour les adolescents et les adultes. On peut en effet judicieusement donner des conseils à des adolescents et à des adultes, qui suffisent normalement à écarter le risque. Il n'est donc pas nécessaire de prendre des mesures obligatoires comme des restrictions d'utilisation, ce qui doit être fait en cas de «*menace concrète*».

Des exemples montrant l'application de ce système expert sont présentés dans l'annexe 1C pour les aires de jeux pour enfants et dans l'annexe 1D pour les jardins privés et familiaux. L'emploi est simplifié par des *tableurs préétablis* pour les utilisations avec risque par ingestion.<sup>5</sup>

## **6.2 Évaluation détaillée de la menace en cas d'utilisation avec risque par ingestion**

Contrairement au cas d'utilisation du sol pour les cultures alimentaires (cf. chap. 4) et fourragères (cf. chap. 5), une évaluation détaillée pour un usage avec risque par ingestion n'est que difficilement réalisable. Ceci est lié au fait qu'une analyse de la contamination des personnes à protéger, dans ce cas, les enfants, n'est guère possible.

En lieu et place du système expert, d'autres modèles peuvent être appliqués, p. ex. le «*modèle EHP*» (environnement / homme / polluant) de l'office allemand de l'environnement (UBA-Dessau). Il est alors possible de tenir compte de la dispersion des paramètres et des incertitudes («*simulations de Monte-Carlo*»).

La publication OFEFP 2004 présente une vue d'ensemble de divers modèles quantitatifs permettant une simulation des risques pour l'homme et l'environnement. Il est cependant souligné que ces programmes peuvent conduire à des évaluations erronées sans connaissances fondées, sans contrôle méticuleux des données utilisées et sans vérification de la plausibilité des résultats. Les résultats de modélisations destinés à faire une évaluation quantitative de la menace sont soumis à un examen critique pour définir des critères de qualité.

---

<sup>5</sup> cf. format Excel: [http://www.environnement-suisse.ch/themes/sol/mise en œuvre de l'OSol](http://www.environnement-suisse.ch/themes/sol/mise%20en%20oeuvre%20de%20l'OSol/) → manuel évaluation de la menace.

# 7 Procédure en l'absence de valeurs réglementaires

## Substances polluantes selon l'OSol

L'OSol prescrit des valeurs réglementaires seulement pour les substances polluantes les plus fréquentes qui peuvent constituer une menace pour les utilisations du sol concernées. Ces substances sont les suivantes: Pb, Cd, Cu, Zn, hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH), polychlorobiphényles (PCB), dioxines/furanes (PCDD/F). Même pour ces substances, l'OSol ne mentionne pas toutes les valeurs réglementaires.

## Évaluation d'autres substances

Lorsque des substances pour lesquelles l'OSol ne prescrit aucune valeur indicative, d'investigation ou d'assainissement sont détectées dans le sol, il faut pouvoir évaluer si l'homme, les animaux ou les plantes sont concrètement menacés (voies de contamination; cf. chap. 3.3). Le manuel actualisable EIKMANN *et al.* (1999) donne des indications sur les substances nuisibles pour l'environnement.

Si une substance polluante est significative par rapport à l'utilisation en question, les valeurs selon EIKMANN & KLOKE (1993) peuvent servir de valeurs de référence pour l'évaluation de la menace (cf. annexe 8). Elles comprennent trois références (BW – «Bodenwerte»: valeurs du sol) par substance et par utilisation du sol, comparables dans leur importance, aux valeurs réglementaires de l'OSol.

- BW I:** valeur de base (valeur d'arrière-plan), comparable à la **valeur indicative** de l'OSol;
- BW II:** valeur d'investigation (valeur cible d'assainissement), comparable au **seuil d'investigation** de l'OSol;
- BW III:** valeur d'intervention, comparable à la **valeur d'assainissement** de l'OSol.

Ces valeurs permettent de réaliser une évaluation de menace en tenant compte des contingences liées à chaque mode d'utilisation (cf. chap. 4 à 6). Si aucune valeur de référence n'existe même chez EIKMANN & KLOKE (1993), il reste la possibilité de s'appuyer sur des critères internationaux équivalents ou de consulter la littérature spécialisée. Dans de tels cas, des investigations détaillées sont indispensables. D'après l'état le plus récent des connaissances, la liste des valeurs de référence de ce manuel pourra être complétée à tout moment.

En utilisant les valeurs précisées par EIKMANN & KLOKE (1993), il faut prêter attention au fait que les profondeurs d'échantillonnage et les méthodes d'extraction préconisées sont différentes de celles de l'OSol (p. ex. en Allemagne extraction des métaux lourds par l'eau régale mais selon l'OSol avec HNO<sub>3</sub> 2 M). Ce qui peut dans certains cas amener à des teneurs qui ne sont pas directement comparables et il faut être attentif à cette divergence. Pour les méthodes d'extraction et de mesure utilisées en Allemagne, son ordonnance sur la protection des sols et les sites contaminés (cf. *Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung; BBodSchV*), et aussi ROSENKRANZ *et al.* (cf. manuel actualisable «*Bodenschutz*»; Kennzahl «code» 8005).

# 8 Mesures

## 8.1 Principes

### 8.1.1 Type et sévérité des mesures

#### Mesures préventives

Indépendamment de l'existence ou non d'une menace concrète, des mesures doivent être prises selon l'art. 8 de l'OSol lorsque les valeurs indicatives sont dépassées, pour éviter une aggravation de la pollution du sol (déterminer la cause, supprimer la source).

Pour les catégories «*menace concrète*» ou «*menace concrète potentielle*», les autorités cantonales prennent les dispositions suivantes en leur qualité d'organes d'exécution :

#### Recommandations d'utilisation

La **recommandation d'utilisation** est la mesure la moins sévère. Elle a pour but de rendre les utilisateurs attentifs et de démontrer que des comportements adéquats permettent d'éliminer le risque. Les recommandations d'utilisation peuvent donner des résultats suffisants si les conditions suivantes sont remplies :

- les utilisateurs sont connus et les recommandations d'utilisation peuvent leur être communiquées ;
- le risque relève de la catégorie «*menace concrète potentielle*».

#### Restriction et interdiction d'utilisation

La **restriction d'utilisation** interdit les activités et comportements qui présentent un risque concret pour l'homme, les animaux ou les plantes. L'utilisation existante peut cependant continuer sous certaines conditions.

Avec une **interdiction d'utilisation**, toutes les activités et comportements qui sont liés à une certaine catégorie d'utilisation sont interdits.

Si l'on prend des mesures contraignantes comme *restriction d'utilisation* ou *interdiction d'utilisation*, c'est qu'il s'agit d'une «*menace concrète*».

#### Principe de proportionnalité

Les restrictions d'utilisation et les interdictions d'utilisation sont des mesures policières qui interviennent dans les droits fondamentaux des intéressés. L'autorité ne peut donc pas employer de moyens plus rigoureux que ne l'exigent les circonstances (proportionnalité, cf. art. 42 *loi fédérale sur la procédure administrative*; *RS 172.021*). Les mesures doivent remplir les conditions suivantes :

- la mesure est propre à éliminer le risque (adéquation avec le but visé) ;
- la mesure prise ne doit pas aller plus loin que nécessaire, c'est-à-dire qu'aucun moyen moins rigoureux ne permet d'atteindre l'objectif (proportionnalité). Ainsi, une activité peut être autorisée sous certaines conditions au lieu d'être interdite, les mesures sont donc appliquées de manière différenciée. Enfin, les dispositions ne s'adressent qu'au responsable (qualifié en langage juridique de «*perturbateur*»);
- les dispositions sont adaptées à l'importance du résultat recherché (adéquation entre la fin et les moyens). L'importance des buts poursuivis est comparée à l'impact de l'intervention. L'intérêt à réaliser l'objectif doit être d'autant plus grand que l'intervention est lourde. Ainsi, l'interdiction d'exploiter une aire de jeux peut être considérée comme un moyen approprié, si elle sert à écarter une menace concrète sur la santé des enfants.

## 8.1.2 Paramètres

Pour définir les mesures à prendre, il faut inclure les paramètres du cas concret qui influent sur l'ampleur du risque, mais qui n'ont pas déjà été pris en compte dans l'évaluation de la menace :

### *Paramètres pour tous les types d'utilisation*

- La menace peut être réduite lorsque la proportion de surfaces polluées par rapport à la totalité des surfaces de même utilisation – normalement toute la parcelle – est faible (valeur de référence: <20%). On peut réduire la menace p. ex. dans les cultures fourragères si les fourrages venant de la surface polluée ne représentent qu'une petite partie de la totalité des fourrages absorbés par les animaux de rente; et dans les cultures alimentaires si lors de la récolte, on mélange systématiquement les produits récoltés. Il importe que l'utilisation conforme aux usages locaux de l'ensemble de la surface inclue *impérativement* une réduction de la pollution des produits récoltés. Il n'est en revanche pas admis de faire des mélanges supplémentaires des biens accusant des pollutions différentes pour ramener la pollution en dessous des valeurs maximales. Il ne sert à rien non plus de réduire la pollution des produits récoltés seulement en modifiant les parcelles. L'objectif est de réduire la pollution de la récolte grâce à des mesures réalisées sur la surface polluée même.
- Les valeurs réglementaires de l'annexe 1 de l'OSol sont interprétées pour des pollutions de longue durée. La menace peut donc être réduite lorsque la pollution de la récolte n'apparaît que sur des périodes relativement courtes. Ce peut être le cas p. ex. des alpages qui ne sont utilisés que pendant une courte période dans l'année.
- La menace globale peut être accrue par la pollution du sol lorsque plusieurs substances constituent une menace.
- La menace globale est accrue lorsque la pollution se déploie par plus d'une voie de contamination (p. ex. dans les jardins privés par les plantes alimentaires et par ingestion directe chez les enfants).

**Pollution par plusieurs  
voies de contamination**

### *Paramètres pour les cultures alimentaires et fourragères*

- La menace est accrue par la production sur une surface polluée de plantes alimentaires ou d'animaux de rente servant à la consommation personnelle. La part de ce type d'alimentation peut être élevée spécialement chez les producteurs. Il faut en tenir compte.

**Consommation  
personnelle**

### *Paramètres en cas de risque par ingestion*

- L'utilisation d'une surface par un groupe de personnes déterminé (cercle fermé) est plus simple à contrôler que si les personnes ne sont pas connues (cercle ouvert). C'est pourquoi on suppose un risque moindre dans le premier cas.
- Le risque est accru si l'on n'interdit pas l'accès à la surface polluée.
- Le risque est diminué par des obstacles, comme clôtures, haies de ronces, etc.

**Utilisation**

Ces paramètres ne sont pas exhaustives. Il n'est en effet pas possible de prévoir chaque cas particulier.

### 8.1.3 Procédure pour définir les mesures

La sévérité des mesures est fonction du degré de risque et des paramètres du cas traité. Les mesures sont définies en fonction des catégories de risque du tableau 24.

Tableau 24 : Classement des mesures à prendre selon les catégories de risque.

Catégorie de risque	Mesures
Pas de menace concrète	→ surveillance (art. 4, al. 1, OSol) et suppression à la source (art. 8 OSol)
Menace concrète potentielle	→ recommandations concernant l'utilisation ; de plus surveillance (art. 4, al. 1, OSol) et suppression à la source (art. 8 OSol)
Menace concrète	→ restrictions et interdictions d'utilisation, éventuellement décontamination ; de plus surveillance (art. 4, al. 1, OSol) et suppression à la source (art. 8 OSol)

Il convient de tenir compte des paramètres de chaque cas particulier (cf. chap. 8.1.2) pour définir les mesures à prendre. Ils doivent être évalués à titre de critères supplémentaires car ils peuvent influencer le type et la sévérité des mesures à prendre. C'est principalement en incluant les paramètres dans les cas particuliers que les autorités ont une marge de manœuvre. Les mesures à prendre doivent autant que possible être convenues avec les personnes concernées, car elles sont ainsi mieux acceptées.

## 8.2 Différentes mesures pour diminuer ou écarter les risques

### 8.2.1 Mesures dans les cultures alimentaires et fourragères

Les mesures suivantes peuvent être utiles selon les catégories de risque :

#### *Recommandations d'utilisation :*

- Ne pas utiliser les engrais ou les pesticides responsables de pollution du sol.
- Pratiquer l'épandage de chaux si le sol a un pH bas (en particulier en présence de polluants inorganiques) et rehausser la teneur du sol en matières organiques (en particulier s'il y a des polluants organiques). Pour les cultures fourragères, ces mesures n'ont d'efficacité que si l'absorption de polluants passe surtout par les plantes (par les racines).
- Éviter dans les cultures fourragères le surpâturage des surfaces polluées.
- Réduire, dans les cultures fourragères, les polluants des sols collectés avec les végétaux lors de la récolte (travaux effectués lorsque le sol est le plus sec possible, récolter du foin au lieu de l'herbe), lorsque la contamination se fait surtout par voie orale.
- Diminuer dans les cultures fourragères la proportion de plantes polluées dans la ration alimentaire.

**Mesures contraignantes (restriction et interdiction d'utilisation) :**

- Se limiter aux cultures de plantes alimentaires ou fourragères moins sujettes à l'accumulation de polluants (cf. *tab. 6*).
- Éviter dans les cultures fourragères les pâtures des surfaces polluées (se limiter aux cultures récoltées). Cette mesure est spécialement adéquate lorsque l'ingestion par voie orale est supérieure à l'absorption par les plantes fourragères.
- Restreindre dans les cultures fourragères l'utilisation des surfaces concernées aux animaux de rente moins sensibles à la pollution.
- Se limiter si possible à des utilisations moins sensibles, en fonction des exigences liées à l'aménagement du territoire.
- Prononcer des interdictions d'exploitation.

### **8.2.2 Mesures concernant l'utilisation avec risque par ingestion**

**Recommandations d'utilisation :**

- Planter, semer et entretenir une couverture végétale pour éviter un contact direct avec le sol (p. ex. gazon).

**Mesures contraignantes :**

- Interdire toute utilisation et éventuellement interdire l'accès en installant une clôture.

### **8.2.3 Mesures complémentaires pour toutes utilisations**

#### **Décontamination**

Les mesures destinées à diminuer la pollution (décontamination) ne peuvent être ordonnées que si les valeurs d'assainissement sont dépassées et seulement dans les régions où l'aménagement du territoire a attribué les sols à l'horticulture, à l'agriculture ou à la sylviculture (cf. art. 10, al. 2, OSol). Selon la législation sur la protection des sols, une décontamination en tant que mesure d'assainissement (p. ex. remplacer le sol pollué) ne peut être que recommandée si les seuils d'investigation sont dépassés. Lorsqu'une décontamination est mise en œuvre, il est judicieux de ramener la pollution en dessous du seuil d'investigation. De cette manière, une nouvelle évaluation de la menace n'est pas nécessaire.

## **8.3 Surveillance**

Les surfaces pour lesquelles le seuil d'investigation est dépassé doivent être surveillées par les cantons. Les mesures nécessaires sont élaborées de cas en cas.

#### **Surveillance en cas de menace concrète**

Lorsqu'il y a menace concrète, la surveillance concerne aussi bien la pollution absolue du sol (teneurs en polluants) que d'autres facteurs qui influent sur le risque. Voici les mesures possibles selon les cas :

- Contrôler la teneur du sol en polluants et/ou les propriétés du sol (p. ex. le pH) à intervalles adéquats, dans la mesure où on peut s'attendre à ce que la teneur en polluants varie.

- Contrôler la teneur des produits en substances polluantes (pour les cultures alimentaires et fourragères).
- Contrôler le type d'utilisation.
- Contrôler le taux de couverture végétale (en cas d'utilisation avec risque par ingestion).
- Répéter les recommandations d'utilisation à intervalles réguliers.
- Contrôler régulièrement que les restrictions et interdictions d'utilisation sont respectées.

**Surveillance sans menace concrète**

Même lorsque l'évaluation n'a montré aucune menace concrète pour l'homme, les animaux ou les plantes, la surface concernée est surveillée pour éviter tout risque si l'on a constaté le dépassement du seuil d'investigation, La surveillance peut par exemple être mentionnée comme servitude dans le cadastre. Les contrôles ne sont généralement nécessaires que s'il y a modification essentielle de la situation à risque, par exemple un changement d'affectation.

#### **8.4 Mesures en cas de pollution en profondeur**

**Pollution à plus de 20 cm de profondeur**

La législation sur la protection des sols est aussi applicable pour des pollutions qui ne ressortent pas en surface, mais à condition que le matériau contaminé fasse partie du sous-sol traversé par les racines (horizon B, et non du matériau de la roche-mère de l'horizon C) et que l'on suppose des effets sur l'homme, les animaux ou les plantes (cf. chap. 2). Si un dépassement du seuil d'investigation est constaté exclusivement à une profondeur de plus de 20 cm, il est nécessaire de vérifier si cette pollution peut constituer une menace concrète (p. ex. absorption par des racines profondes). Il faut également examiner s'il existe un risque potentiel pour l'homme, les animaux ou les plantes. Ce risque existe si le matériau pollué peut migrer avec le temps vers les couches supérieures à moins de 20 cm de la surface, sous l'effet d'érosion, de bioturbation, d'interventions culturales ou de déplacement du matériau lors de travaux de construction.

S'il est à craindre que la fertilité du sol soit menacée par la pollution (cf. art. 4, al. 1, OSol), ou si une menace concrète en résulte pour l'homme, les animaux ou les plantes (dépassement du seuil d'investigation, cf. art. 9 OSol), il faut surveiller la pollution du sol. Les mesures nécessaires pour ce faire sont définies de cas en cas.

## 8.5 Responsabilités et délais<sup>6</sup>

### 8.5.1 Compétence et procédure

#### Qui est compétent ?

En cas de pollution du sol, les cantons sont compétents (cf. art. 13 OSol) pour la mise en œuvre des mesures de lutte au sens de l'art. 34 LPE. Ils règlent compétences et procédure (cf. art. 36 LPE). Ils peuvent mandater les communes pour des tâches spécifiques de protection du sol, plus précisément ordonner et contrôler les restrictions ou les interdictions d'utilisation. Les cantons restent cependant directement responsables devant la Confédération de l'application de l'art. 34 LPE.

Si la pollution du sol concerne un site pollué au sens de l'art. 2 OSites, c'est cette ordonnance qui s'applique.

### 8.5.2 Destinataires des mesures

#### Qui est concerné par les mesures ?

Les dispositions prises pour protéger la santé publique et l'environnement contre une menace concrète relèvent du droit de police. Elles sont donc dirigées contre toute personne qui est responsable d'un état illicite (perturbateur). Comme la perturbation à éliminer émane du sol, sont considérés comme perturbateurs (selon l'utilisation concernée):

- le propriétaire du terrain pollué;
- l'exploitant du sol;
- toute personne qui met dans le commerce des produits nocifs provenant d'un sol pollué.

Si le perturbateur n'est pas en mesure, faute de ressources propres, d'écarter un danger imminent, les autorités interviennent d'office et mettent immédiatement en œuvre les mesures de sécurité et de rétablissement de l'état antérieur (cf. art. 59 LPE).

### 8.5.3 Imputation des coûts

#### Qui assume les coûts ?

Les mesures de protection contre une menace concrète prises par les cantons sont destinées à remplir le mandat défini à l'art. 34 LPE. La répartition des frais suit le principe du pollueur-payeur conformément à l'art. 2 LPE. Les coûts pour les mesures de sécurité et de rétablissement de l'état antérieur prises par les autorités sont répartis selon l'art. 59 LPE, les frais de procédure selon le code de procédure administrative. Si la pollution du sol est un site pollué selon l'art. 2 OSites, la répartition des frais suit l'art. 32d LPE.

---

<sup>6</sup> Les données du chapitre 8.5 sont tirées des commentaires de TSCHANNEN (1999) concernant l'article 34 LPE (cf. explications ; p. 20 ss). Pour le principe du pollueur-payeur dans le droit sur la protection du sol ; cf. aussi HEPERLE (2001).



#### 8.5.4 Obligation de dédommager

**Des dédommagements  
peuvent-ils être exigés ?**

Les restrictions et les interdictions d'utilisation selon l'art. 34, al. 2 et 3, LPE sont des restrictions de droit public à la propriété. Il n'y a pas d'obligation d'indemniser qui incombe aux pouvoirs publics, parce que les restrictions et les interdictions ne peuvent être décidées que pour écarter une menace concrète pour la santé de l'homme, des animaux ou des plantes. Elles sont donc exclusivement motivées – au sens strict du terme – par des raisons de police.

#### 8.5.5 Délais

**À quelle vitesse  
faut-il agir ?**

En cas de *dépassement des valeurs indicatives*, les cantons prennent des mesures dans les cinq ans qui suivent le constat de la pollution du sol. Ils fixent les délais en fonction du degré d'urgence de chaque cas (cf. art. 8, al. 4, OSol).

Le droit fédéral n'impose pas de délai en cas de *dépassement des seuils d'investigation et des valeurs d'assainissement*. Les principes de droit de police invitent à entreprendre sans délai – selon l'urgence du cas – les démarches nécessaires lorsque les conditions d'une menace selon l'art. 34, al. 2 et 3, LPE sont réunies.



# Annexes

# Annexe 1

## Exemples d'évaluation de la menace

Les quatre cas présentés ci-après permettent de préciser et d'éclairer la procédure d'évaluation de la menace réalisée à l'aide de systèmes experts. Dans ce but, quatre situations typiques, une par catégorie d'utilisation du sol, sont évaluées sur la base d'exemples fictifs :

- A Utilisation du sol pour «cultures alimentaires» (agriculture et horticulture);
- B Utilisation du sol pour «cultures fourragères»;
- C Utilisation du sol avec «risque par ingestion»;
- D Utilisation du sol pour «jardins privés», exemple qui combine A et C.

### A Évaluation de la menace dans les cultures alimentaires (agriculture et horticulture)

#### Exemple: pollution d'une culture de céréales par le cadmium (Cd)

#### Situation

Une teneur du sol en Cd de 6.0 mg/kg est constatée sur une surface utilisée à des fins agricoles (profondeur de carottage 20 cm). Les analyses des propriétés du sol donnent un pH de 6.4 (CaCl<sub>2</sub>, 0.01 M), une teneur en matières organiques de 4.5% et en argile de 19%. Des céréales pour le commerce alimentaire sont cultivées sur la surface concernée, ici du blé.

#### Calculs avec le système expert

Les calculs avec le système expert «cultures alimentaires» (cf. tab. 25) donnent le résultat suivant: même de faibles dépassements du seuil d'investigation du Cd obligent à classer dans la catégorie «*menace concrète*». Cela s'explique par le facteur de correction T relativement élevé du Cd et par sa grande mobilité – même en présence de pH élevés.

Tableau 25: Exemple de calcul pour cultures alimentaires (agriculture et horticulture).

Facteur	Points	Remarques
Facteur pollution P	0.7	cf. équation (CA4.2), chapitre 4.1.2
Facteur mobilité M	2	Somme des facteurs d'absorption relative (cf. tab. 4 chap. 4.1.2): 4 points, soit 4 points pour pH 6.5 (valeur 6.4 arrondie) et 0 point pour teneurs en matières organiques et en argile
Facteur espèce végétale V	2	Facteur espèce végétale pour blé, plante avec capacité d'absorption élevée (cf. tab. 6, chap. 4.1.2)
Facteur de correction T	0.5	Facteur de correction T pour Cd (cf. tab. 7, chap. 4.1.2)
Indice de menace $I = P+M+V+T$	5.2	<u>Évaluation de la pollution</u> : elle détermine la catégorie « <i>menace concrète</i> » (à partir de 5 points, cf. tab. 8, chap. 4.1.3)

#### Comparaisons, paramètres et mesures à prendre

Sur la base des conclusions de l'évaluation de la menace à l'aide du système expert, la culture de plantes alimentaires absorbant beaucoup de Cd (blé, avoine) est dangereuse pour la santé. Elle doit donc être arrêtée et une restriction d'utilisation est inévitable.

La teneur en Cd du blé cultivé sur cette surface doit être analysée avant que cette céréale ne soit mise dans le commerce. Si la teneur en Cd résultant des analyses est supérieure à la teneur maximale admissible selon l'OSEC, qui est de 0.2 mg/kg poids frais, ce blé n'est pas autorisé à entrer dans la fabrication d'aliments. Il peut cependant être utilisé comme fourrage pour autant que la teneur en Cd ne dépasse pas la teneur maximale prescrite par l'OLAIA (1 mg/kg d'aliment pour 88% de matière sèche).

L'utilisation de la surface en question pour des «cultures alimentaires» est globalement encore possible. Des végétaux ayant une capacité d'absorption de Cd faible à moyenne peuvent continuer d'y être cultivés. Pour de telles plantes, le facteur P = 1 ou 0 (cf. tab. 26), ce qui donne un indice de menace de 4.2 ou 3.2. En conséquence, la surface peut être classée dans la catégorie «*menace concrète potentielle*» (3 à <5 points). Parmi les céréales, le seigle, l'orge et le maïs tombent dans cette catégorie de sensibilité au Cd. Si les céréales produites sur cette surface ne servent pas à la consommation personnelle de l'exploitant (proportion élevée de l'alimentation totale), ce paramètre aggravant disparaît également.

La recommandation d'utilisation du sol la plus efficace serait de ne cultiver si possible que des végétaux à faible absorption de Cd. Il serait aussi raisonnable d'augmenter la teneur du sol en matières organiques sur la surface polluée. Ce qui est faisable en semant de l'engrais vert après la récolte de céréales (p. ex. Phacelia). Une teneur élevée en matières organiques diminue la mobilité du Cd (cf. fig. 4). Augmenter le pH par épandage de chaux n'est en revanche pas indiqué pour un pH de 6.9 car cela ne modifie pas la mobilité du Cd.

#### Remarques

Si le propriétaire de la surface n'est pas d'accord avec les conclusions de l'évaluation (à cause des restrictions d'utilisation), il peut faire procéder à une étude plus détaillée que celle du système expert. Dans ce contexte, il faut analyser plus précisément chaque plante alimentaire qui a une forte capacité d'absorption du Cd (cf. tab. 6). L'accumulation de cette substance dans les plantes diffère souvent selon le type de végétal et selon les conditions météorologiques. De plus, des conclusions définitives sont pratiquement impossibles sur la base d'analyses de plantes ne portant que sur une saison.

### **B Évaluation de la menace dans les cultures fourragères**

#### **Exemple: pollution au Cu dans une prairie (pâturage et production de foin pour moutons, bovins et ovins)**

#### Situation

Une teneur en Cu de 215 mg/kg est constatée dans le sol d'une prairie (profondeur de carottage 20 cm). Cela correspond à une pollution qui apparaît souvent dans d'anciens vignobles. Des analyses du sol donnent un pH de 6.3, une teneur en matières organiques de 6.0% et une teneur en argile de 28%. Des bovins et ovins viennent paître de temps en temps sur cette surface utile, qui produit aussi du foin pour le bétail. Les propriétaires envisageraient d'y faire paître des moutons.

**Calculs avec le système expert**

Les calculs avec le système expert «cultures fourragères» montrent, en appliquant les teneurs maximales admissibles prescrites par l'OLAIA de 35 mg/kg (pour bovins; cf. tab. 12), que l'ingestion par voie orale est, malgré son faible apport, une source importante de contamination des animaux de rente par le Cu. De manière générale, elle représente le cas de contamination le plus fréquent par les cultures fourragères.

Tableau 26 : Exemple de calcul pour cultures fourragères.

Facteur	Points	Remarques
Facteur sol ingéré S	1.2	Cf. équation (F5.2), chapitre 5.1.2; en introduisant 2.5% d'ingestion directe de sol comme valeur moyenne pour des pâturages par temps sec (cf. tab.13)
Facteur pollution pour transfert sol-plante P	0.6	Cf. équation (F5.3), chapitre 5.1.2
Facteur mobilité M	0	Somme des facteurs d'absorption relative (cf. fig. 4 chap. 4.1.2): 6 points, soit 5 points pour pH 6.5 (valeur arrondie de pH 6.3), 1 point pour teneur en matières organiques et 0 point pour teneur en argile
Facteur espèce végétale V	1	Facteur espèce végétale pour « herbe » avec absorption moyenne (cf. tab. 14, chap. 5.1.2)
Facteur de correction T	0	Facteur de correction T pour Cu (cf. tab. 15, chap. 5.1.2)
Indice de menace I = S+P+M+V+T	2.8	<u>Évaluation de la pollution</u> : elle détermine la catégorie « pas de menace concrète » (jusqu'à <5 points, cf. tab. 17, chap. 5.1.3)

**Comparaisons, paramètres et mesures à prendre**

Avec l'utilisation actuelle, c'est la catégorie «pas de menace concrète» qui est valable pour les bovins et ovins. Les conditions sont un peu différentes par temps humide. En ce cas, la part de sol mélangée au fourrage est comprise entre 10 et 15% (moyenne 12.5%, herbe de fauche/d'ensilage; cf. tab. 13). Cela signifierait un facteur sol ingéré de 6.1 et un indice de menace de 7.7 (catégorie: «menace concrète potentielle»).

Des recommandations d'utilisation visant à modifier les propriétés du sol ne sont pas appropriées dans ce cas. Les propriétés du sol n'ont en effet qu'une influence secondaire sur l'absorption de Cu par les animaux. Une hausse (théorique) éventuelle du pH aurait même pour conséquence d'augmenter la mobilité du Cu – donc d'élever la quantité de Cu dans l'herbe (cf. fig. 4). Par contre, la recommandation de n'utiliser la surface que par temps sec est juste; la part de sol ingérée est ainsi plus faible (cf. tab.13). Enfin, l'exploitant devrait utiliser des additifs alimentaires contenant du Cu («stimulation de croissance») uniquement avec modération, il devrait même les éliminer totalement.

L'utilisation future comme pâture pour les moutons sera évaluée différemment de l'affectation présente car les moutons ont une plus grande sensibilité au Cu (teneurs maximales selon OLAIA: 15 mg/kg, contre 35 mg/kg pour les bovins et ovins). De plus, les moutons ingèrent en broutant une plus grande quantité de terre que les bovins et ovins (cf. tab. 13).

Pour ces raisons, la catégorie de risque sera pour les moutons en tous les cas la catégorie «*menace concrète*», même dans des conditions favorables (sol sec ; indice de menace: 15.9). La teneur maximale selon l'OLAIA vaut certes seulement pour un aliment complet, mais même si les valeurs critiques pour le fourrage selon BLUME (1992) sont appliquées et qu'une teneur maximale de 30 mg/kg pour l'aliment simple soit admise, l'indice de menace se situe encore à 8.8. Cela correspond à la catégorie «*menace concrète*», ce qui signifie que cette prairie ne peut en aucun cas être pâturée par des moutons.

#### Remarques

Si le propriétaire de la surface n'est pas d'accord avec les conclusions de l'évaluation à cause des restrictions d'utilisation, il peut faire procéder à une étude plus détaillée que celle du système expert. Dans un tel cas, il n'est pas approprié de ne faire analyser que les produits d'animaux de rente (lait, viande). La contamination par le Cu menace aussi la santé des bêtes et pas seulement celle de l'homme en tant que consommateur de produits animaux. L'homme est nettement moins sensible au Cu que les ruminants.

Pour les mêmes raisons, la part que les exploitants consacrent à leur consommation personnelle (condition particulière) est un problème sans importance. L'analyse de la teneur en substance polluante de l'herbe à elle seule n'est pas suffisante en l'occurrence car les moutons se contaminent surtout par ingestion. Raison pour laquelle il faut éviter de faire pâturer des moutons sur des prairies polluées au Cu. Une évaluation détaillée de la menace ne pourrait en effet être faite que si les moutons paissaient sur cette prairie à titre d'essai.

### C Évaluation de la menace en cas d'utilisation avec risque par ingestion

#### Exemple: aire de jeux polluée au PAH

#### Situation

Une contamination du sol par PAH de 39 mg/kg est constatée sur une aire de jeux pour enfants (profondeur de carottage 5 cm). Une enquête sur les lieux montre que le terrain est aussi fréquenté par de très jeunes enfants (entre 1 et 5 ans) accompagnés de leur mère. Ils ne viennent cependant jamais plus d'une à deux fois par semaine. Ce qui n'est pas valable pour les enfants plus grands qui y viennent plus souvent. La surface est couverte en grande partie de gazon et compte quelques arbres. Le sol est dénudé plus particulièrement près des jeux. Le sol nu représente environ 10 à 15% de la surface totale (estimation). L'aire de jeux est une installation publique et elle est donc accessible à tous.

#### Calculs à l'aide du système expert

Le calcul à l'aide du système expert «risque par ingestion» donne un indice de menace de 4.6 en cas d'utilisation fréquente par des enfants de plus de 6 ans. L'indice est le même pour les enfants entre 4 et 6 ans qui, eux, ne viennent qu'une ou deux fois par semaine.

Le calcul montre clairement que le facteur âge joue un rôle déterminant dans la partie inférieure du domaine d'investigation. La raison vient de ce que le risque de

contamination par ingestion chez les enfants qui jouent, même difficile à quantifier, est le plus élevé chez les très jeunes enfants parce qu'ils marchent à quatre pattes et jouent par terre.

Tableau 27 : Exemple de calcul pour le cas de risque par ingestion (aire de jeux pour enfants).

Facteur	Points	Remarques
Facteur pollution P	1.6	Cf. équation (RI6.2)
Facteur âge A	2	Facteur âge pour enfants de moins de 3 ans (cf. tab. 20, chap. 6.1.2)
Facteur fréquence F	1	Facteur fréquence pour visite 1 à 2 fois par semaine (cf. tab. 21, chap. 6.1.2)
Facteur couverture végétale C	1	Facteur couverture végétale : 75 à 90 % (cf. tab. 22, chap. 6.1.2)
Indice de menace $I = P+A+F+C$	5.6	Évaluation de la pollution : elle détermine la catégorie « menace concrète » (à partir de 5 points ; cf. tab. 23, chap. 6.1.3)

#### Comparaison, paramètres et mesures

L'usage de cette aire de jeux n'est plus possible, du moins pour des enfants de moins de 3 ans, car on passe tout de suite à la catégorie « menace concrète » s'ils y viennent souvent. Il faut aussi vérifier si la couverture végétale risque (parfois) d'être inférieure à 75% (incertitude). Les enfants de moins de 6 ans seraient alors aussi menacés (catégorie « menace concrète » si la fréquentation est de 1 à 2 fois par semaine).

Les décisions à prendre diffèrent de cas en cas. On peut faire appel par exemple à l'expérience des autorités communales pour estimer l'état du gazon de l'aire de jeux durant les années passées.

Dans un autre exemple, le terrain n'est pas public et appartient à un hôtel de vacances. L'aire de jeux n'est utilisée par les enfants que durant leur court séjour. Ainsi, il n'y a pas d'ingestion de polluant pendant longtemps – pour autant que les enfants du personnel de l'hôtel n'y jouent pas aussi. Les valeurs réglementaires de l'OSol sont connues pour être définies pour une utilisation sur une longue durée avec risque par ingestion.

Dans le cas d'utilisations de courte durée, les autorités chargées de la protection des sols peuvent revendiquer une marge d'appréciation motivée. Les mesures décrites plus haut peuvent être adaptées à ces circonstances particulières et l'aire de jeux autorisée aux très jeunes enfants lorsque la surface est couverte de végétation (gazon) si possible complètement, mais au moins à 90%.

#### Remarques

Si le propriétaire de la surface n'est pas d'accord avec les conclusions de l'évaluation, il peut faire procéder à une étude plus détaillée que celle proposée par le système expert. C'est cependant très difficile pour une aire de jeux car l'accumulation de polluants n'est guère mesurable chez les enfants. Dans de tels cas, il est indiqué de faire des calculs par modélisation (cf. chap. 6.2).



## D Évaluation de la menace dans les jardins privés

### Exemple : jardin privé pollué au Pb

#### Situation

Une teneur en Pb de 380 mg/kg (profondeur de carottage 20 cm) est constatée dans le carré à légumes d'un jardin privé. Le carré couvre environ un tiers de la surface totale du jardin; le reste est engazonné. Diverses plantes alimentaires y sont cultivées : laitues, choux-raves, carottes, courgettes et courges. Pour limiter les coûts, les propriétés du sol sont analysées sur place; il n'y a ainsi aucun résultat de laboratoire. Ces analyses sommaires révèlent un pH de 7 (test rapide), une teneur en matières organiques de 10% (estimation) et en argile de 35% (estimation).

La part des légumes produits sur place consommés par le propriétaire est relativement faible, soit environ 20% selon les informations reçues au cours de l'enquête. Parmi les membres de la famille qui fréquentent le jardin quasi quotidiennement en été, il y a deux enfants de 9 et 13 ans.

#### Calculs à l'aide du système expert

Pour les jardins, il faut considérer deux types d'utilisation, contrairement aux cas précédents (différentes voies de contamination), à savoir «cultures alimentaires» et «utilisation avec risque par ingestion». De plus, les valeurs réglementaires applicables pour les jardins diffèrent partiellement de celles des cultures alimentaires en agriculture et des aires de jeux pour enfants.

Les calculs effectués à l'aide du système expert «cultures alimentaires» donnent les chiffres présentés au tableau 28. Il en ressort que le Pb a un comportement chimique totalement différent de celui du Cd (cf. exemple annexe 1A). La mobilité du Pb est nettement plus faible que celle du Cd, pour des propriétés comparables du sol, de même pour le facteur toxicité T.

Tableau 28 : Exemple de calcul pour cultures alimentaires (jardin privé).

Facteur	Points	Remarques
Facteur pollution P	1.1	Cf. équation (CA4.2), chapitre 4.1.2
Facteur mobilité M	0	Somme des facteurs d'absorption relative (cf. fig. 4, chap. 4.1.2): 6 points (4 points pour pH 7.0, 1 point pour teneur en matières organiques et 1 point pour teneur en argile)
Facteur espèce végétale V	2	Facteur espèce végétale pour laitue en tant que plante à haut pouvoir d'absorption (cf. tab. 6, chap. 4.1.2)
Facteur de correction T	0	Facteur de correction T pour Pb (cf. tab. 7, chap. 4.1.2)
Indice de menace $I = P+M+V+T$	3.1	<u>Évaluation de la pollution</u> : elle détermine la catégorie « menace concrète potentielle » (de 3 à <5 points; cf. tab. 8, chap. 4.1.3)

Les calculs effectués avec l'aide du système expert «utilisation avec risque par ingestion» démontrent que c'est la catégorie «menace concrète potentielle» qui s'applique pour l'enfant de 9 ans, dans l'hypothèse de conditions défavorables (cf. tab. 29).

Tableau 29: Exemple de calcul pour une utilisation avec risque par ingestion (jardin privé).

Facteur	Points	Remarques
Facteur pollution P	0.6	Cf. équation (RI6.1) chapitre 6.1.2
Facteur âge A	0	Facteur âge pour enfants de plus de 7 ans, adolescents et adultes (cf. tab. 20, chap. 6.1.2)
Facteur fréquence F	2	Facteur fréquence pour utilisation supérieure à 1 à 2 fois par semaine (cf. tab. 21, chap. 6.1.2)
Facteur couverture végétale C	2	Facteur couverture végétale: <75% (cf. tab. 22, chap. 6.1.2)
Indice de menace $I = P+A+F+C$	4.6	<u>Évaluation de la pollution</u> : elle détermine la catégorie « <i>menace concrète potentielle</i> » (à partir de 3 points, cf. tab. 23, chap. 6.1.3)

**Comparaisons,  
paramètres et mesures  
à prendre**

Sur la base des données établies, la culture de plantes alimentaires n'atteint pas la catégorie « *menace concrète* ». Il faut cependant tenir compte du fait que les propriétés du sol ont été seulement estimées. Il convient donc de vérifier à partir de quelles valeurs approximatives même de petites marges d'imprécision entraînent un changement du résultat. Pour la teneur en argile, une erreur de 10% entraîne un changement de catégorie (teneur en argile <25%). Pour les matières organiques, la valeur estimée peut descendre de 10% à moins de 8% sans influencer l'indice de menace.

Il est possible que lors du test rapide, le pH varie de 0.5 unité. Une telle variation n'entraîne toutefois pas de modification de la mobilité du Pb pour un pH réel de 7.5. Pour un pH de 6.5, la mobilité est même inférieure. Ainsi, il n'y a de « *menace concrète* » pour aucune espèce de plante. Il est, malgré tout, recommandé au propriétaire de renoncer à titre préventif à cultiver des plantes ayant tendance à absorber plus facilement le Pb (laitues et carottes).

Pour les «risque par ingestion», les calculs avec le système expert indiquent la catégorie « *menace concrète potentielle* ». Le sol non couvert de végétation est le carré consacré au potager, soit une surface qui n'est, à proprement parler, pas destinée aux jeux. Des recommandations de comportement raisonnable à adopter dans le jardin peuvent être données au jeune adolescent de 13 ans, ce qui devrait aussi être valable, dans la plupart des cas, pour l'enfant de 9 ans. Pour ces raisons, des recommandations d'utilisation sont ici appropriées.

Par contre, et selon les circonstances, la catégorie « *menace concrète* » peut résulter de l'évaluation pour des enfants de moins de 6 ans. Pour les enfants jeunes et très jeunes, ce jardin n'est pas adapté au jeu. Ce qui, dans le cas d'un éventuel changement de propriétaire, devra être précisé par écrit (p. ex. mention dans un cadastre), car il ne faut pas attendre de réduction de la charge polluante, même à long terme.

**Remarques**

Si le propriétaire de la surface n'est pas d'accord avec les conclusions de l'évaluation, il peut faire procéder à une étude plus détaillée que celle proposée par le système expert. Les difficultés rencontrées dans l'évaluation du risque par ingestion sont ici similaires à celles décrites en conclusion de l'exemple de l'annexe 1C.

# Annexe 2

## Polluants

Voici quelques brèves indications sur plusieurs polluants. Les substances décrites sont celles pour lesquelles les annexes de l'OSol prescrivent des valeurs d'investigation et des seuils d'assainissement.<sup>7</sup>

### A Plomb (Pb)

#### Effets du Pb sur l'homme

Chez l'homme, la contamination par le Pb arrive principalement par inhalation ou par ingestion orale de particules du sol. Cette contamination a pour effet d'élever le taux de Pb dans le sang avec des conséquences graves pour la santé. Au début, elle provoque une modification de la formule sanguine et de l'urine. C'est surtout chez les enfants qui, en jouant, ingèrent en excès de la terre ou des particules d'un sol très chargé en Pb (comportement «pica») que le Pb peut provoquer une encéphalopathie ou une anémie à moyen terme (mois). Si l'exposition est longue (années), on constate des effets négatifs sur les performances intellectuelles, qui peuvent être irréversibles.

#### Effets du Pb sur les animaux

Une forte contamination au Pb provoque chez les animaux des troubles pathologiques telles que l'hyperactivité, la perte du sens de l'orientation, des troubles moteur-cérébraux, la cécité et même la mort. L'effet sur la santé de l'homme d'une consommation de produits animaux contaminés au Pb est en revanche minime.

#### Pb dans les plantes alimentaires

Le Pb ne se fixe que peu dans les végétaux. Le rapport entre teneur en Pb d'une plante et du sol est de l'ordre de 0.01:1 à 0.1:1. La connaissance de la capacité d'accumulation dans certaines espèces de légumes et de fruits (cf. tab. 6) est utile pour diminuer la contamination de l'homme par des plantes alimentaires contenant du Pb en utilisant des recommandations appropriées d'utilisation du sol.

### B Cadmium (Cd)

#### Effets du Cd sur l'homme

La contamination de l'homme par le Cd, substance hautement toxique, se fait principalement par la chaîne alimentaire. Chez les fumeurs, les atteintes par le Cd sont deux fois plus élevées que chez les non-fumeurs. Le Cd absorbé par le corps est accumulé avant tout dans les reins, dans le foie et dans les muscles. Des dysfonctionnements des reins peuvent apparaître en cas d'exposition longue.

En Suisse, la dose moyenne de Cd absorbée par l'homme est la plus élevée: elle atteint 20% de la dose hebdomadaire tolérable provisoire pour métaux lourds PTWI

---

<sup>7</sup> Des informations détaillées ainsi que des indications sur d'autres polluants sont contenues dans le manuel actualisable EIKMANN et al. (1999 ; « Gefährdungsabschätzung » ; avant tout toxicité des polluants) et SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2002, avant tout apparition et comportement des polluants dans les sols). Pour les activités agricoles et horticoles, consulter les instituts suivants : Agroscope FAL Reckenholz, et Agroscope RAC Changins.

(OMS/FAO<sup>8</sup> «Provisional Tolerable Weekly Intake»); cf. aussi OFSP 1991). Chaque exposition supplémentaire au Cd, par exemple à travers les plantes alimentaires, devrait donc rester aussi faible que possible.

#### **Effets du Cd sur les animaux**

Les animaux sont, comme l'homme, contaminés par le Cd essentiellement par les aliments. Une diminution des performances et les signes de maladies n'apparaissent chez l'animal que s'il subit des expositions importantes au Cd. Dans le cas des animaux de rente, la contamination de l'animal a un effet indirect sur la santé si l'homme consomme des produits animaux contenant du Cd (le foie et les reins sont les plus vulnérables). Les valeurs seuils fixées par l'hygiène alimentaire tiennent compte de cette situation.

#### **Cd dans les plantes alimentaires**

Le Cd se fixe fortement dans les végétaux. Le rapport entre teneur de la plante en Cd et du sol est de 10:1. La capacité d'accumulation varie sensiblement selon les espèces. Pour les cultures alimentaires, le Cd est la substance qui est le plus souvent à l'origine des dépassements des teneurs maximales selon l'OSEC.

### **C Cuivre (Cu)**

#### **Effets du Cu sur l'homme**

Le Cu est vital pour l'homme et n'est toxique qu'à forte dose. Il est absorbé avec les aliments et s'accumule principalement dans le foie et dans le cerveau. L'intoxication chronique est quasiment inconnue chez l'homme car le Cu n'a pas tendance à se fixer (SCHNEIDER & KALBERLAH 2000; SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). On connaît en revanche des cas d'intoxication par ingestion lors d'exposition de courte durée.

Les effets concernent en premier lieu le tube digestif. Selon la gravité de l'intoxication, le foie et les reins peuvent aussi être atteints, ce qui peut conduire à une issue fatale. Des poussières de Cu peuvent provoquer une irritation en cas d'inhalation, ce qui ne se produit que dans le cas d'expositions extrêmes (conditions de travail particulières, cf. EIKMANN *et al.* 2000). Les teneurs en Cu dans le sol élevées au point de menacer la santé humaine sont exceptionnelles. La consommation de produits animaux (p. ex. animaux de pâture) ne présente pas de risque particulier pour la santé.

#### **Effets du Cu sur les animaux**

Le Cu est vital pour les animaux de rente. Il est ajouté dans certaines circonstances au fourrage de manière ciblée (stimulation de croissance). Pour les animaux, la différence entre besoin essentiel et dose nocive est cependant faible. Une forte exposition au Cu provoque chez les ruminants des symptômes de maladie; les moutons, en particulier, réagissent fortement au Cu. La menace d'atteinte à leur santé est encore aggravée par l'ingestion de terre durant la pâture (pâturages, cf. tab. 13). La haute sensibilité des moutons au Cu est souvent reliée à un manque de molybdène (Mo).

---

<sup>8</sup> OMS/FAO, 2003: « Summary and conclusions of the Joint FAO/WHO Expert committee on food additives (JECFA) » – 61<sup>st</sup> meeting in Rome, 10–19<sup>th</sup> June 2003 ; see : Annex 4 on Cadmium.

Si la valeur d'investigation «cultures alimentaires» du Cu est dépassée, il faut contrôler d'abord l'alimentation des animaux, avant de prendre d'autres mesures. Les non-ruminants sont beaucoup moins sensibles au Cu.

**Cu dans les plantes alimentaires**

Le Cu est également vital pour les végétaux. Des teneurs trop élevées dans les plantes peuvent par contre provoquer des dommages allant jusqu'à leur dépérissement. La valeur d'assainissement selon l'OSol pour les jardins a été fixée en fonction de dommages potentiels aux plantes (perte de rendement) et non en fonction de dommages à l'homme (OFEFP 1997a).

**Bibliographie**

GEORGOPOULOS P.G., ROY A., YONONE-LIOY M. J., OPIEKUN R. E., LIOY P. J., 2001 :  
« *Environmental copper, its dynamics and human exposure issues* ».  
J.Toxicol.Environ.Health, Part B 4, 341–394.

**D Zinc (Zn)**

**Effets du Zn sur l'homme**

Le Zn est vital pour l'homme et toxique seulement à haute dose. Une exposition importante par inhalation au cours de certains travaux peut provoquer des troubles respiratoires (fièvre du fondeur de Zn). L'ingestion excessive par voie orale entraîne surtout des douleurs du tube digestif. Une exposition chronique a pour conséquence un changement de la formule sanguine et de la fonction rénale, ainsi qu'une baisse de la fertilité (HASSAUER *et al.* 2001). Les teneurs en Zn dans le sol élevées au point de menacer la santé humaine sont exceptionnelles.

**Effets du Zn sur les animaux**

Pour les animaux, le Zn est également vital et est, comme le Cu, ajouté à l'alimentation de manière ciblée (stimulation de croissance). Les teneurs en Zn dans le sol élevées au point de menacer la santé des animaux sont exceptionnelles.

**Zn dans les plantes alimentaires**

Le Zn est aussi vital pour les plantes. Des teneurs en Zn trop élevées dans les végétaux peuvent par contre provoquer des dommages allant jusqu'à leur dépérissement. La valeur d'assainissement pour les jardins selon l'OSol a été fixée en fonction de dommages potentiels aux plantes (perte de rendement) et non en fonction de dommages à l'homme (OFEFP 1997a).

**E Hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH)**

**Paramètres totaux benzo(a)pyrène**

Il existe plusieurs centaines de composés de PAH. Ils résultent principalement de processus de combustion incomplète. Pour des motifs d'ordre analytique, l'OSol réglemente seulement la somme des 16 congénères hydrocarbures aromatiques polycycliques PAH (liste des Priority pollutants de l'EPA/USA). Le benzo(a)pyrène est considéré comme un composé simple; sa toxicité pour l'homme étant en plus individuellement connue. Des évaluations de menace ont permis de déterminer les effets sur l'homme des composés simples de PAH à partir d'équivalents dérivés de la toxicité du benzo(a)pyrène (cf. tab. 30).

Tableau 30: 16 composés simples de PAH avec leurs équivalents de toxicité (effet cancérigène).

– Benzo(a)pyrène	<b>1</b>	– Anthracène	0.01	– Fluoranthène	0.001
– Dibenzo(a,h)anthracène	1	– Benzo(ghi)pérylène	0.01	– Fluorène	0.001
– Benzo(a)anthracène	0.1	– Chrysène	0.01	– Naphthalène	0.001
– Benzo(b)fluoranthène	0.1	– Acénaphthène	0.001	– Phéénanthrène	0.001
– Benzo(k)fluoranthène	0.1	– Acénaphthylène	0.001	– Pyrène	0.001
– Indéno(1,2,3-cd)pyrène	0.1				

Source: NISBET und LAGOY (1992).

#### Effets des PAH sur l'homme

Une exposition constante aux PAH augmente le risque de cancer (de la peau et des poumons). L'absorption de PAH par inhalation ou ingestion, que ce soit par exemple en fumant et en grillant des viandes avant de les manger, sont des exemples typiques où les PAH menacent la santé.

#### Effets des PAH sur les animaux

L'accumulation de PAH dans les plantes fourragères (herbe) est très faible. Les animaux ne sont que peu contaminés par suite d'ingestion de terre ou de souillures terreuses dans les fourrages. Des teneurs élevées du sol en PAH ne représentent, selon l'état actuel des connaissances, aucune menace pour la santé des animaux. Les PAH ne se fixent pratiquement pas dans les produits animaux.

#### PAH dans les plantes alimentaires

L'accumulation dans les plantes est fonction du type de composés simples de PAH, conséquence des propriétés différentes de chacun de ces éléments. Le rapport entre teneur en PAH de la plante et du sol varie, selon l'espèce végétale et la substance, entre 0.01:1 et 10:1. Lorsque la contamination est due à des huiles de goudron (p. ex. anciennes usines à gaz), celles-ci augmentent la solubilité et favorisent le transfert des polluants dans les plantes.

DELSCHEN *et al.* (1999) donne une bonne vue d'ensemble des connaissances sur le transfert sol-plante. Cette publication précise qu'on ne constate la plupart du temps aucune absorption systématique de PAH par les végétaux, en particulier des composés PAH à haute masse moléculaire benzo(a)pyrène et dibenz(a,h)anthracène. Par contre, une absorption peut se produire à la suite de dépôt de poussières chargées en polluants sur le végétal, avec passage direct dans la cuticule de la plante. C'est important avant tout pour les espèces végétales basses, poussant à proximité du sol, comme les légumes à feuilles, car les conditions météorologiques jouent alors un rôle important (fréquences et intensité des «éclaboussures» qui déposent des particules de terre sur les feuilles). Il n'est donc pas possible d'établir un pronostic fiable sur la teneur des plantes en PAH en s'appuyant sur des analyses du sol.

Couvrir le sol avec du paillis neutralise une grande partie du transfert sol-plante de PAH. Selon les investigations de DELSCHEN *et al.* (1999), les recommandations concernant les cultures (choix de l'espèce végétale, couverture avec du sable ou paillage, etc.) «devraient offrir une protection suffisante jusqu'à des concentrations de 15 mg/kg environ, rapportées au benzo(a)pyrène». Cela s'applique à tout le domaine compris entre seuils d'investigation et valeurs d'assainissement selon l'OSol (champ d'investigation). Une évaluation détaillée des risques potentiels dus

aux PAH dans les plantes alimentaires exige de considérer à la fois l'absorption due aux dépôts de polluants atmosphériques et le transfert sol-plante, spécialement dans les zones à forte concentration urbaine (cf. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002, p. 402).

L'appréciation des effets des PAH sur les plantes alimentaires est basée sur les teneurs maximales selon l'OSEC qui prescrit des valeurs pour le benzo(a)pyrène qui peuvent être utilisées comme équivalents de toxicité (cf. tab. 30) pour d'autres composés PAH.

#### **Bibliographie**

OFEFP, 1998 : « *Richt-, Prüf- und Sanierungswerte für organische Schadstoffe im Boden – Fallbeispiel PAK* ». Cahier de l'environnement n° 96, 111 p., Berne.

DELSCHEN T., HEMBROCK-HEGER A., LEISNER-SAABER J., SOPCZAK D., 1999: « *Verhalten von PAK im System Boden/Pflanze* ». Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung, 11, 79–87.

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Éditeur), 1997b : « *Stoffbericht – Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)* ». Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 34/97, 249 p.

## **F Polychlorobiphényles (PCB)**

#### **Paramètres totaux**

Les PCB sont un groupe de 209 composés organochlorés. Ils ont été fabriqués depuis 1930 et ont trouvé des applications jusque dans les années 1980, par exemple les huiles hydrauliques, les graisses industrielles, les échangeurs de chaleur et diélectriques. Depuis 1986, leur fabrication et leur utilisation sont interdites en Suisse. Très solubles dans les matières grasses, les PCB ont la propriété de se concentrer dans les tissus graisseux des organismes. En suivant la chaîne alimentaire, cette propriété se renforce (amplification biologique). Pour des motifs d'ordre analytique, l'OSol réglemente seulement la somme des 7 congénères selon l'Institute for Reference Materials and Measurements – IRMM (n° IUPAC 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180).

#### **Effets des PCB sur l'homme**

Les PCB s'accumulent dans les tissus graisseux humains. Une femme enceinte exposée aux PCB fait courir les risques suivants à son bébé: accouchement avant terme, poids inférieur à la moyenne, malformations, développement retardé et dommages au système nerveux. De plus, le système immunitaire peut être affaibli. Enfin, on soupçonne les PCB d'être cancérogènes.

#### **Effets des PCB sur les animaux**

Les animaux sont contaminés par le PCB par ingestion soit de terre soit de polluants du sol mélangés au fourrage. L'accumulation de PCB dans les plantes fourragères est cependant secondaire. Les effets nocifs sur les animaux sont comparables à ceux constatés chez l'homme.

**PCB dans les plantes alimentaires**

Les plantes absorbent le PCB par les racines mais ne l'accumulent pas. Les plantes avec des racines profondes, carottes, pommes de terre, salsifis, etc., contiennent plus de PCB que celles dont les parties pouvant accumuler le polluant sont situés hors sol.

L'appréciation des effets des PCB sur les plantes alimentaires est basée sur les teneurs maximales selon l'OSEC. Contrairement aux valeurs d'investigation et seuils d'assainissement de l'OSol, ces teneurs sont valables pour la concentration totale en PCB. La détermination de cette concentration se fait en première approximation à l'aide de la formule suivante :

- somme des congénères n° 28, 52, 101, 138, 153, 180 multipliée par 4.3.

**Bibliographie**

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (ÉDITEUR), 1997a :  
«*Stoffbericht – Polychlorierte Biphenyle (PCB)*». Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 16/95, 121 p.

**G Dioxines et furanes (PCDD/F)**

**Équivalents de toxicité pour les PCDD/F**

Les PCDD/F sont issus principalement de processus de combustion en présence de composés chlorés. Il existe 210 composés de dioxines et de furanes, dont la toxicité varie beaucoup. Seuls 17 de ces composés sont biologiquement importants à cause de leur toxicité (chlore en position 2,3,7 et 8). En conséquence, la teneur en PCDD/F est exprimée en équivalents de toxicité (I-TEQ/kg, International-Toxicity Equivalent Quantity). Comme ils sont solubles dans les graisses, les PCDD/F s'accumulent avant tout dans les tissus graisseux des organismes. Ce phénomène s'accroît le long la chaîne alimentaire (amplification biologique).

**Effets des PCDD/F sur l'homme**

C'est l'alimentation qui, à plus de 95%, est responsable de la contamination chez l'homme (aliments riches en graisses comme le lait, les viandes, les poissons et les produits dérivés). Le lait n'est plus considéré comme propre à la consommation lorsque la teneur en PCDD/F dépasse 5 ng I-TEQ/kg de matière grasse. Des concentrations très élevées peuvent provoquer de l'acné chlorique, des troubles hormonaux ainsi qu'une plus forte probabilité d'apparition d'un cancer. À ce jour, aucune conséquence négative pour la santé n'est connue pour de faibles expositions à ce polluant. Les critères d'évaluation suivants peuvent être utilisés pour la protection de l'homme (cf. tab. 31).



Tableau 31 : Niveaux d'exposition aux dioxines et aux furanes (OMS 1998, FIEDLER 2003).

Niveau d'exposition [pg I-TEQ/kg poids corporel]	Résultat de l'évaluation
<1	Les dommages pour la santé sont très improbables (valeur préventive).
1–4	Il ne faut pas encore craindre de dommages pour la santé, même en cas d'exposition permanente (à vie), mais il n'y a aucune garantie (seuil d'alarme).
>4	Il faut, en cas d'absorption quotidienne pendant une longue période, prendre des mesures pour abaisser si possible la quantité de dioxines et de furanes à moins de 4 pg I-TEQ/kg de poids corporel.

**Effets des PCDD/F sur les animaux**

Les animaux sont plus sensibles aux PCDD/F que l'homme. Ils absorbent ces composés principalement par l'alimentation. Les plantes fourragères sont contaminées par des dépôts de polluants atmosphériques. La pollution du sol participe aussi à la contamination globale des animaux chez qui la part de sol ingérée avec les aliments est significative (cf. tab. 13). Les vaches laitières accumulent les PCDD/F dans le lait et la volaille dans les lipides des oeufs.

**PCDD/F dans les plantes alimentaires**

La contamination des végétaux par les PCDD/F se produit principalement par des dépôts de polluants atmosphériques. Les légumes verts sont les plus touchés à cause de la taille de leurs feuilles. Les PCDD/F sont aussi absorbés, dans une moindre mesure, par les parties souterraines des plantes. Ces composés s'accumulent en priorité dans les couches de cellules superficielles des racines. De ce fait, le risque de contamination peut être sensiblement réduit en pelant les légumes-racines. Un transfert des racines vers les pousses et les feuilles n'est que rarement constaté, mis à part dans les courges et les courgettes. Le rapport entre teneur en polluant de la plante et du sol varie entre 0.01 et 0.1. L'OSEC ne prescrit pas de teneurs maximales pour les PCDD/F dans les plantes alimentaires.

**Bibliographie**

OFEFP, 1997b: «*Dioxine und Furane – Standortbestimmung, Beurteilungsgrundlagen, Massnahmen*». Cahier de l'environnement n° 290, 127 p., Berne.  
 FIEDLER H., 2003: «*Dioxins and Furans (PCDD/PCDF)*». Handbook of Environmental Chemistry, vol. 30, 123–201.

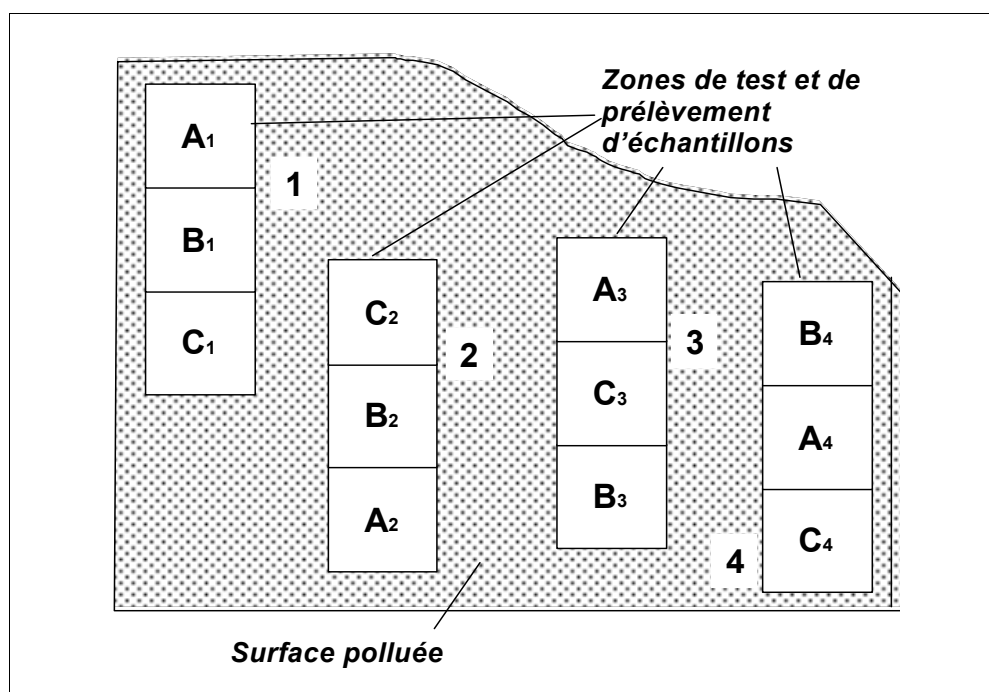
# Annexe 3

## Cultures témoins

### Zones d'essai et de prélèvement d'échantillons

Des zones de test sont sélectionnées sur la surface polluée (cf. fig. 7). Pour des raisons statistiques, quatre zones de test au moins sont définies. Sur chacune d'elles, diverses espèces de plantes sont cultivées et leur absorption des polluants est déterminée de sorte que la surface polluée est évaluée d'une manière représentative.

Figure 7 : Zones de test et de prélèvement d'échantillons pour analyser trois espèces de plantes A, B et C.



### Semence et exploitation de la culture d'essai

Pour une culture témoin, il faut choisir avec soin un matériel (semence, plants) uniforme afin de pouvoir comparer les résultats pour chaque espèce. Les semences et la plantation se font selon les méthodes usuelles de l'agriculture et de l'horticulture. Durant l'exploitation, l'apport d'éléments nutritifs et d'eau en quantités appropriées est important pour éviter le stress des végétaux.

### Prélèvement d'échantillons

Quatre [à six] échantillons de chaque espèce sont prélevés sur chaque zone de test et réunis comme suit en trois échantillons composés : échantillons composés avec des plantes des surfaces A<sub>1</sub>-A<sub>4</sub>, de B<sub>1</sub>-B<sub>4</sub> et de C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>. La récolte s'effectue selon les méthodes usuelles de l'horticulture. Les parties non comestibles et les résidus terreux sur la plante sont si possible éliminés sur place.

### Bibliographie

OFEFP, 1996 : « Sols pollués – métaux lourds et plantes bioindicatrices ». Documents environnement N° 58, 245 p.

# Annexe 4

## Évaluation de la pollution des plantes fourragères au moyen de valeurs seuils

Une valeur seuil est définie comme la valeur qui ne doit pas être dépassée pour un élément trace déterminé. Sinon, un dérèglement du métabolisme peut apparaître chez un animal ou un produit animal ne répondra plus aux exigences de l'hygiène alimentaire. Dans ce contexte, deux valeurs différentes sont considérées: valeur seuil inférieure (seuil de tolérance) et valeur seuil supérieure (seuil de toxicité; KIRCHGESSNER 1997).

Tableau 32: Valeurs seuils inférieures et supérieures dans les fourrages pour évaluer la contamination globale des animaux de rente (MS = matière sèche).

Nutztier	Pb [mg/kg MS]	Cd [mg/kg MS]	Cu [mg/kg MS]	Zn [mg/kg MS]	PCB [mg/kg MS]
Vache laitière	25–30	0.5–30	30–100	250–500	0.1–3
Bovin	–		30–100	150–500	
Mouton	15–30		10–25	150–500	
Porc	15–30		150–500	100–2000	
Cheval	–		150–500	–	
Volaille	–		300–500	–	

Extrait de: KESSLER (1993), HAPKE (1988), NRC (1980), KIRCHGESSNER (1997), FAC (1990).

### Analyse de la pollution

Contrairement aux teneurs maximales selon l'ordonnance sur le livre des aliments pour animaux (OLAIA), les valeurs seuils se rapportent à la quantité totale de fourrage consommé par un animal de rente. C'est pourquoi, il faut calculer la pollution globale à laquelle l'animal de rente est exposé. Tout d'abord, la pollution due aux aliments simples est calculée pour le polluant de la manière décrite au chapitre 5.2.1, ici cependant pour tous les produits alimentaires consommés par l'animal de rente en question:

$$C_i = s_i * c_{\text{teneur totale, sol}} + c_{\text{plante fourragère}} \quad (\text{A4.1})$$

$C_i$  Contamination de la plante fourragère  $i$  [mg/kg]

$c_{\text{teneur totale, sol}}$  Teneur du sol en polluant [mg/kg MS]; profondeur de carottage: 0–5 cm  
en cas de polluants mélangés au sol avec des plantes plus profondes (récolte):  
0–20 cm

$c_{\text{plante fourragère}}$  Teneur en polluant de la plante fourragère [mg/kg MS]

$s_i$  Part ingérée  $i$  de sol/polluants mélangés au fourrage (cf. tab. 13).

**Contamination globale  
par toutes les plantes  
fourragères**

Pour les fourrages qui ne proviennent pas de surfaces polluées, il est possible de se référer à des teneurs moyennes (p. ex. IPE 1994; cf. tab. 19). Enfin, la pollution totale est calculée comme suit:

$$P_{total} = \sum r_i * C_i \quad (A4.2)$$

$P_{total}$  Pollution totale dans le fourrage de l'animal de rente [mg/kg];  
 $r_i$  Part de la plante fourragère  $i$  dans la ration alimentaire complète  
Part maximale des aliments simples dans l'aliment complet (cf. tab. 13).

**Évaluation de la pollution**

Le classement en catégories de risque se fait au moyen de valeurs seuils définies selon les critères présentés au tableau 33 pour chaque animal de rente et pour chaque polluant.

Tableau 33: Catégories de risque pour les plantes fourragères déterminées au moyen de valeurs seuils.

<b>Pollution globale</b> ( $P_{total}$ de l'équation A4.2)	<b>Catégorie de risque</b>
La valeur seuil inférieure n'est pas dépassée	Pas de menace
La valeur seuil inférieure est dépassée	Menace concrète potentielle
La valeur seuil supérieure est dépassée	Menace concrète

# Annexe 5

## Prise en compte des incertitudes de mesure lors de la comparaison des résultats mesurés avec les valeurs maximales<sup>9</sup>

### 1 Définitions

Chaque valeur mesurée est entachée d'une incertitude de mesure. Normalement, l'incertitude de mesure est représentée par l'indication d'un intervalle de confiance de 95% pour la valeur vraie (EURACHEM 1995).

En comparant une valeur mesurée avec une valeur maximale, on admet de manière générale que la teneur d'un échantillon ne se situe au-dessus d'une valeur maximale avec une fiabilité statistique de 95% que si l'entier de l'intervalle de confiance (pour test unilatéral) de la valeur mesurée se situe au-dessus du maximum admis. À l'inverse, on ne constate une teneur inférieure à la valeur maximale que si l'entier de l'intervalle de confiance (pour test unilatéral) de la valeur mesurée se situe au-dessous du maximum admis.

On admet ensuite que l'hétérogénéité des échantillons est inférieure à l'incertitude de mesure.

### 2 Mise au point au moyen d'enquêtes analytiques

L'incertitude de mesure est fonction de la précision de la méthode de mesure. La précision est représentée par les deux paramètres «comparabilité R» et «reproductibilité r». R et r se calculent à partir des écarts-types de comparaison et de reproductibilité:

$$\text{Comparabilité: } R = 2.8 * s_R \quad (\text{A5.1})$$

*s<sub>R</sub>: écart-type comparabilité.*

$$\text{Reproductibilité: } r = 2.8 * s_r \quad (\text{A5.2})$$

*s<sub>r</sub>: écart-type reproductibilité.*

R et r permettent de calculer l'«écart critique» par rapport à la valeur maximale avec un niveau de confiance de 95% (BAG 1989):

$$D_{95} (\bar{X}-M) = [0.84/2^{1/2}] * [R^2-r^2 * (n-1)/n]^{1/2} \quad (\text{A5.3})$$

*M = valeur maximale;*  
 *$\bar{X}$  = moyenne (calculée par un laboratoire);*  
*n = nombre de valeurs calculées des analytes.*

Il y a dépassement de la valeur maximale avec une probabilité de 95% seulement lorsque la moyenne est supérieure à la somme de la valeur maximale et de l'«écart

---

<sup>9</sup> Auteur de l'annexe 5 : Claudius Gemperle du Laboratoire Cantonal du canton d'Argovie.

critique». Ce procédé exige le calcul analytique de R et r au cours d'un essai inter-laboratoire ainsi que plusieurs analyses de l'analyte (détermination de la moyenne).

### 3 Mise au point au moyen de valeurs empiriques générales

Des valeurs estimatives peuvent aussi être introduites en lieu et place des valeurs R et r déterminées avec précision au cours d'essais interlaboratoires.

L'estimation de  $s_R$  selon Horwitz :

$$s_R = 0.02 * C^{0.85} \quad (A5.4)$$

$$C = \text{rapport des masses (HORWITZ 2003)}.$$

et l'hypothèse selon laquelle

$$s_r = s_R / 2 \quad (A5.5)$$

sont jugées raisonnables par plusieurs sources.

L'écart-type relatif de comparaison  $RSD_R$  se calcule à partir de la formule A5.6 :

$$RSD_R (\%) = 2 * C^{-0.15} [= 2^{(1-0.5 \log C)}] \quad (A5.6)$$

La formule A5.6 illustre que  $RSD_R$  dépend de la concentration (valeurs cf. tab. 34). L'«écart critique valeur moyenne – valeur maximale» se calcule au moyen de la formule A5.3 à partir des formules A5.1 et A5.2, ainsi que A5.4 et A5.5.

Tableau 34 : Écart critique pour différentes concentrations.

Concentration C [-]		$RSD_R (\%)^1$ $2 * C^{-0.15}$	Écart critique entre moyenne et maximum relatif pour des concentrations en % <sup>2)</sup>
$10^{-1}$	100 g/kg	3	4
$10^{-2}$	10 g/kg	4	6
$10^{-3}$	1 g/kg	6	9
$10^{-4}$	100 mg/kg	8	12
$10^{-5}$	10 mg/kg	11	17
$10^{-6}$	1 mg/kg	16	24
$10^{-7}$	0.1 mg/kg	23	34
$10^{-8}$	10 µg/kg	32	48
$10^{-9}$	1 µg/kg	45	68

<sup>1)</sup>  $s_R$  relatif = écart-type relatif ;

<sup>2)</sup>  $D_{95}(\bar{x}-M)$  se réfère à la concentration (en %) pour n = 3.

Nombre d'analystes estiment que le calcul de l'écart critique selon HORWITZ (2003) donne de trop grandes incertitudes de mesure. Dans certains cas, il est tout à fait possible de réduire les incertitudes de mesure.

#### Bibliographie

EURACHEM, 1995 : « *Quantifying uncertainty in analytical measurement* ». ISBN 0948926082, 87 p., London.

OFSP, 1989 : « *Manuel suisse des denrées alimentaires* ». Chapitre 60B/annexe 4, al. 4.

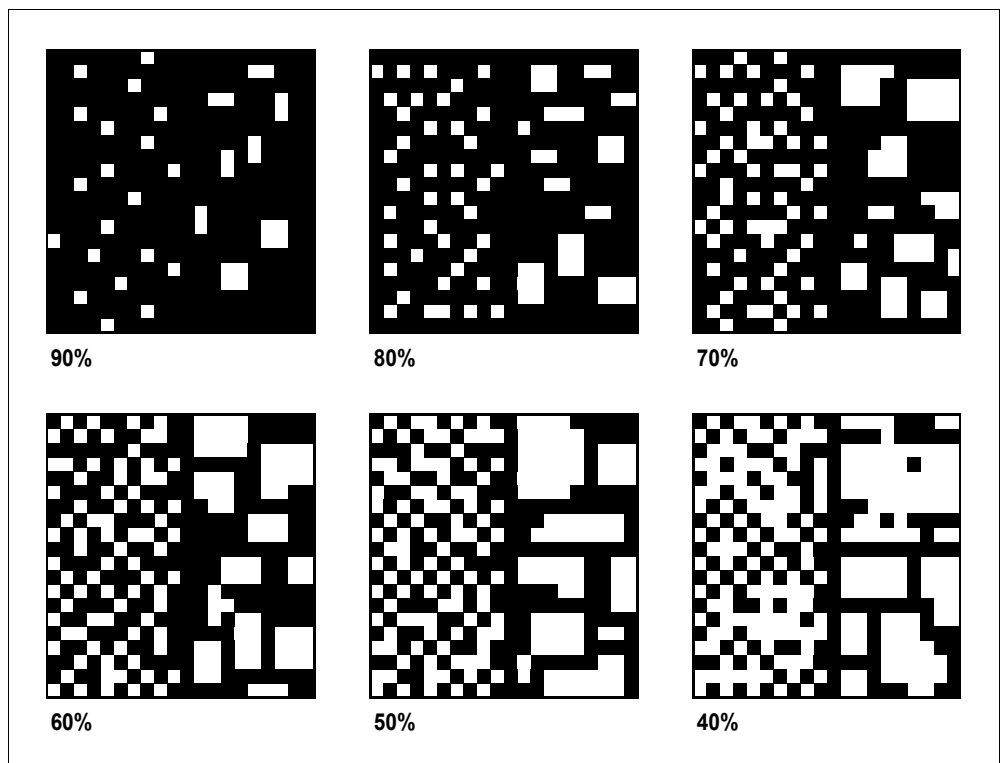
HORWITZ W., 2003 : « *The certainty of uncertainty* ». J.Assoc.Offic.Anal.Chemists (AOAC) International, 86, n° 1, 109–111.

# Annexe 6

## Comparaison des degrés de couverture végétale

Les figures ci-dessous permettent d'évaluer les proportions de sol nu et de couverture végétale sur un terrain.

Figure 8: Tableaux pour comparer les degrés de couverture végétale.



# Annexe 7

## Formulaire d'enquête pour des utilisations du sol avec risque par ingestion

### 1 Identification

<b>11 Projet</b>	
Désignation du projet: .....	Projet n°: .....
Données relevés par: .....	
<b>12 Emplacement</b>	
Localité, Commune: .....	Canton: .....
Lieu-dit: .....	n° Registre foncier: .....
Coordonnées: .....	n° Carte nationale: .....
<b>13 Interlocuteurs</b>	
Propriétaire: .....	
Exploitant: .....	
Autres personnes: .....	

### 2 Localisation de la surface concernée

<b>21 Croquis</b>	
<b>22 Données</b>	
Surface polluée (m <sup>2</sup> ): .....	Surface utile totale (m <sup>2</sup> ): .....
<b>23 Documentation</b>	
<input type="checkbox"/> Photos	<input type="checkbox"/> Plans

### 3 Utilisation

<b>31 Utilisation</b>		
<input type="checkbox"/> Surface de jeux (plusieurs possibilités)	<input type="checkbox"/> Jardins privés ou familiaux	<input type="checkbox"/> Autres utilisations
<input type="checkbox"/> Jardin d'enfants	<input type="checkbox"/> Jardin privé	<input type="checkbox"/> Friche industrielle
<input type="checkbox"/> Cour d'école	<input type="checkbox"/> Jardin familial	<input type="checkbox"/> Agriculture
<input type="checkbox"/> Aire de jeux	<input type="checkbox"/> Autres: .....	<input type="checkbox"/> Horticulture
<input type="checkbox"/> Terrain de sport	.....	<input type="checkbox"/> Forêt
<input type="checkbox"/> Parc	.....	<input type="checkbox"/> Autres: .....
<input type="checkbox"/> Place de jeu «Robinson»	.....	.....
<input type="checkbox"/> Autres: .....	.....	.....



<b>32 Rapports de propriété</b>		
<input type="checkbox"/> Bien-fonds privé	<input type="checkbox"/> Installation publique	
<input type="checkbox"/> Usage privé (p. ex. jardin familial)	<input type="checkbox"/> Usage public (p. ex. parc)	
<b>33 Usagers</b>		
Usagers (plusieurs options possibles):	<input type="checkbox"/> Usagers connus	<input type="checkbox"/> Usagers inconnus
<input type="checkbox"/> enfants en bas âge (moins de 3 ans)	<input type="checkbox"/> petit nombre (1–5)	
<input type="checkbox"/> jeunes enfants (3 à 5 ans)	<input type="checkbox"/> nombre moyen (5–50)	
<input type="checkbox"/> enfants (6 à 10 ans)	<input type="checkbox"/> grand nombre (plus de 50)	
<input type="checkbox"/> adolescents (11 à 15 ans)		
<input type="checkbox"/> adultes (à partir de 16 ans)		
Utilisateur principal: .....		
<b>34 Fréquentation</b>		
Fréquentation:	<input type="checkbox"/> plus d'une fois par semaine	
	<input type="checkbox"/> une fois par semaine	
	<input type="checkbox"/> moins d'une fois par semaine	
<b>35 Utilisations futures</b>		
<b>36 Informations complémentaires sur l'utilisation</b>		

#### 4 Accès

<b>41 Accès</b>		
<input type="checkbox"/> Libre accès	<input type="checkbox"/> Obstacles naturels	<input type="checkbox"/> Obstacles artificiels
<input type="checkbox"/> pas d'interdiction d'accès	<input type="checkbox"/> merlon de protection	<input type="checkbox"/> clôture, hauteur: .....
<input type="checkbox"/> interdiction d'accès	<input type="checkbox"/> fossé	<input type="checkbox"/> mur, hauteur: .....
	<input type="checkbox"/> autres: .....	<input type="checkbox"/> autres: .....
<b>42 Informations complémentaires sur l'accès</b>		

#### 5 Végétation

<b>51 Végétation</b>		
<input type="checkbox"/> artificielle .....	<input type="checkbox"/> naturelle .....	
<b>52 Espèces</b>		
<input type="checkbox"/> Strate herbacée	<input type="checkbox"/> Strate buissonnante	<input type="checkbox"/> Strate arborée
<input type="checkbox"/> prairie naturelle	<input type="checkbox"/> épineux	
<input type="checkbox"/> gazon	<input type="checkbox"/> non-épineux	
<input type="checkbox"/> forêt		
<input type="checkbox"/> surface rudérale		
<input type="checkbox"/> autres: .....		
<b>53 Degré total de couverture végétale: sur quelle partie du terrain le sol n'est-il pas nu ? (cf. tab. de comparaison annexe 6)</b>		
Degré de couverture (%): .....		
<b>54 Possibilité de modifier la couverture végétale</b>		

#### 6 Date et signature

<b>61 Date et signature</b>	
Date: .....	Signature: .....

## Annexe 8 Valeurs d'appréciation selon EIKMANN & KLOKE (1993)

**Valeurs du sol:** **BW I:** valeur de base (valeur de référence), comparable à la **valeur indicative de l'OSol**;  
**BW II:** valeur d'investigation (valeur cible d'assainissement), comparable au **seuil d'investigation de l'OSol**;  
**BW III:** valeur d'intervention, comparable à la **valeur d'assainissement de l'OSol**.

Type d'utilisation		Valeur référence du sol	Polluants inorganiques																				Polluants organiques						
			As	B	Ba	Be	Br	Cd	Co	Cr	Cu	F***	Ga	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Sn	Tl	U	V	Zr	Zn	CN <sub>tot</sub>	Benzo(a)-pyrène	PCB	PCDD/PCDF [ng TEQ/kg]
Bien à protéger, homme	Usages multiples	BW I	20	25	100	1	10	-	30	-	-	-	10	-	-	-	-	1	1	50	0.5	2	50	300	-	5	-	-	-
	Aire de jeux	BW II	20	25	100	1	10	-	30	*	*	***	10	*	*	*	-	2	5	50	0.5	2	50	300	-	5	-	-	-
		BW III	50	125	500	5	50	-	150	250	-	***	50	10	25	200	-	10	20	250	10	10	200	1500	-	50	-	-	-
	Jardins privés et petits jardins	BW II	40	50	200	2	20	-	100	100	*	***	20	2	10	80	-	4	5	100	2	5	100	500	-	20	-	-	-
BW III		80	250	1000	5	100	-	400	350	-	2500	100	20	50	200	-	10	10	500	20	20	400	2000	-	400	-	-	-	
Autres biens à protéger	Usages multiples	BW I	20	25	100	1	10	-	50	-	-	-	10	-	-	-	-	1	1	50	0.5	5	50	300	-	5	-	-	-
	Surfaces agricoles, vergers et potagers	BW II	40	50	300	2	30	-	200	200	-	1000	40	10	20	100	-	5	5	100	2	10	100	500	300	-	-	-	-
		BW III	**	250	1500	5	150	-	1000	500	-	5000	200	50	100	200	-	25	10	500	10	50	400	2000	-	-	P. i.	-	-

[Indications en mg/kg de terre, sauf autre mention].

P. i. = pas d'indications.

TEQ = équivalents de toxicité, cf. annexe 2G.

- = utiliser ici la valeur réglementaire de l'OSol.

\* = en tant qu'équivalent de la valeur d'investigation, utiliser le double de la valeur indicative selon l'OSol, car la BW II selon EIKMANN & KLOKE (1993) est inférieure ou égale à la valeur indicative OSol.

\*\* = utiliser comme équivalent du seuil d'assainissement le double de BW II, car la BW III selon EIKMANN & KLOKE (1993) est de 50 mg/kg, soit à peine plus élevée que la BW II.

\*\*\* = EIKMANN & KLOKE (1993) donnent pour le fluor des valeurs BW II et BW III qui sont parfois inférieures ou à peine supérieures à la valeur indicative de l'OSol. En particulier pour le fluor, il faut observer les effets des différentes méthodes d'extraction et échelles d'appréciation. Dans le doute, une investigation détaillée est indiquée.

**Précisions:** Les profondeurs de carottage et les méthodes d'extraction selon l'OSol se différencient de celles qui sont admises chez EIKMANN & KLOKE (1993); p. ex. pour les métaux lourds avec HNO<sub>3</sub> 2M selon l'OSol (à l'eau régale en Allemagne). Cela peut conduire, dans certains cas, à des résultats divergents; il faut donc en tenir compte. Les utilisations mentionnées correspondent à celles pour lesquelles l'OSol prescrit des valeurs réglementaires. D'autres catégories d'utilisation sont présentées dans EIKMANN & KLOKE (1993). Pour les méthodes d'extraction et de mesure, cf. l'ordonnance allemande « Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung » (BBodSchV); dans: ROSENKRANZ D., BACHMANN G., KÖNIG W., EINSELE G. (éditeur), ergänzbares Handbuch (manuel actualisable) « Bodenschutz », *Kennzahl (code) 8005*, Erich Schmidt Verlag, Berlin.

**Bibliographie:** EIKMANN T., KLOKE A., 1993: « *Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-)Stoffe in Böden* »; dans: ROSENKRANZ D., BACHMANN G., KÖNIG W., EINSELE G. (éditeur), ergänzbares Handbuch (manuel actualisable) « Bodenschutz », *Kennzahl (code) 3590*, Erich Schmidt Verlag, Berlin.

# Annexe 9

## Explications concernant l'étalonnage du système expert

### A Système expert «cultures alimentaires»

#### Données disponibles

La banque de données TRANSFER de l'office allemand de l'environnement [Umweltbundesamt – UBA] a été utilisée pour l'étalonnage du système expert «cultures alimentaires». <sup>10</sup> Cette banque de données possède près de 317000 paires de variables de concentrations de polluants dans les sols et dans les plantes ainsi que des données sur les propriétés de sols. Il y avait des données disponibles sur les polluants exclusivement inorganiques suivants :

Ag, As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Tl, U, V, Zn

Une partie seulement des données TRANSFER à disposition a été exploitée, celles compatibles avec les mesures selon l'OSol et le droit suisse sur les denrées alimentaires. Les données utilisables pour l'étalonnage ont été sélectionnées selon les critères suivants :

1. *Espèces végétales* : espèces considérées comme plantes alimentaires selon l'OSEC;
2. *prétraitement des plantes* : seulement des plantes lavées non cuites;
3. *extraction du sol* : à l'eau régale;
4. *pH du sol* : entre 4.25 et 7.75 (CaCl<sub>2</sub>);
5. *profondeur de prélèvement d'échantillons* : 0–20, 0–25 et 0–30 cm et essais en pot. Il s'agit ici du seul écart par rapport aux critères de l'OSol (profondeur de carottage 20 cm). Cet écart peut être considéré comme acceptable (brassage relativement bon de la terre des surfaces cultivées et des jardins, ainsi que dans les pots d'essai) et il était surtout nécessaire pour disposer d'une base de données suffisante.

Ainsi quelque 20187 paires de variables ont été utilisées pour l'étalonnage du système expert «cultures alimentaires». La répartition par substance est présentée dans le tableau 35.

Les valeurs limites des denrées alimentaires sont nécessaires comme mesures pour l'étalonnage. Elles sont une mesure de la toxicité humaine des substances. L'OSEC ne prescrit cependant de teneurs maximales dans les plantes alimentaires que pour trois métaux lourds (Cd, Pb et Tl). Au plan international, il n'existe de valeurs limites que pour le Cd et le Pb dans les plantes alimentaires (BERG & LICHT 2002). La procédure d'étalonnage pour les trois métaux lourds est décrite à l'exemple du Cd; la démarche suivie pour le Pb et le Tl est la même.

---

<sup>10</sup> La banque de données TRANSFER a été gracieusement mise à disposition par l'office allemand de l'environnement (UBA), Dessau et par les Länder.

**Cd, Pb et Tl**

Il n'a pas été possible d'adapter chaque facteur individuellement au cours de l'étalonnage, c'est-à-dire de calculer une corrélation pour chaque association entre espèces végétales et propriétés du sol.

Tableau 35: Nombre de paires de variables utilisables pour l'étalonnage du système expert « cultures alimentaires ».

Éléments	Nombre de paires de variables utilisables
As	560
Cd	4992
Cr	1483
Cu	544
Hg	1255
Ni	2524
Pb	4366
Tl	149
Zn	4314

Premièrement, il n'y avait pas assez de données disponibles pour toutes les associations de facteurs. Deuxièmement, un étalonnage tenant compte de toutes les associations de facteurs aurait exigé de calculer jusqu'à 90 corrélations par polluant qu'il aurait fallu pondérer ensuite. Troisièmement, le système ne devait pas être modifié dans sa structure (simple) de base. L'étalonnage a donc été fait à l'aide d'*une seule* association de paramètres, qui englobait le plus grand nombre possible de paires de variables et constitue de ce fait un cas typique.

Tableau 36: Associations de facteurs utilisées pour l'étalonnage de Cd, Pb et Tl.

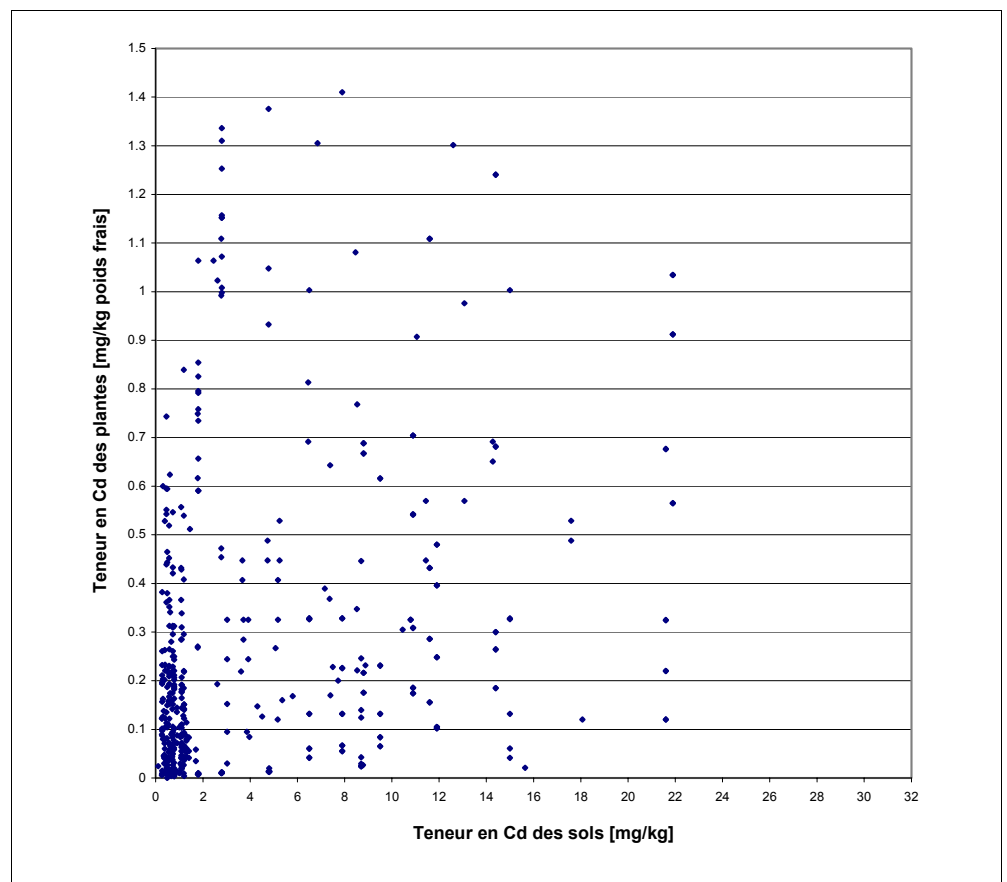
Éléments	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Teneur en matières organiques [%]	Teneur en argile [%]	Facteur espèce végétale	Nombre de paires de variables
Cd	5.75–6.75	<8	pas de restriction	2	533
Pb	6.75–7.75	2–15	<25	2	2061
Tl	6.25–7.75	pas de restriction	<45	2	116

Les teneurs dans le sol et dans les plantes ont été reportées sur un graphique pour cette association de facteurs. Pour le Cd, le résultat est présenté sur la figure 9. La valeur limite selon l'OSEC se situe dans ce cas à 0.2 mg Cd/kg en poids frais, les teneurs des espèces végétales ne correspondant pas aux valeurs de l'OSEC ont été converties.

Cette représentation montre clairement que les valeurs divergent fortement, en dépit de propriétés semblables du sol et des plantes. C'est à dessein que le graphique n'a pas été dessiné sur des axes logarithmiques parce que les grands écarts en auraient été tout simplement cachés. Même pour une teneur du sol inférieure à 2 mg/kg (seuil d'investigation), les plantes enregistrent des teneurs nettement au-dessus des valeurs limites de l'OSEC.

Pour la majorité des paires de variables, la teneur des plantes est cependant inférieure à la valeur limite de l'OSEC jusqu'à une teneur plus élevée du sol. C'est ce que montre l'évaluation des médianes des teneurs des plantes, qui ont été déterminées par tranche de teneur du sol de 0.1mg/kg (cf. fig. 10). La corrélation linéaire des valeurs médianes dépasse la valeur limite de l'OSEC pour une concentration de Cd dans le sol d'environ 5 mg/kg.

Figure 9: Teneurs en Cd des sols et des plantes. Facteurs : plantes avec forte capacité d'absorption de Cd (facteur espèce végétale = 2, pH 5.75–6.75, teneur en matières organiques  $\leq$ 8 %).



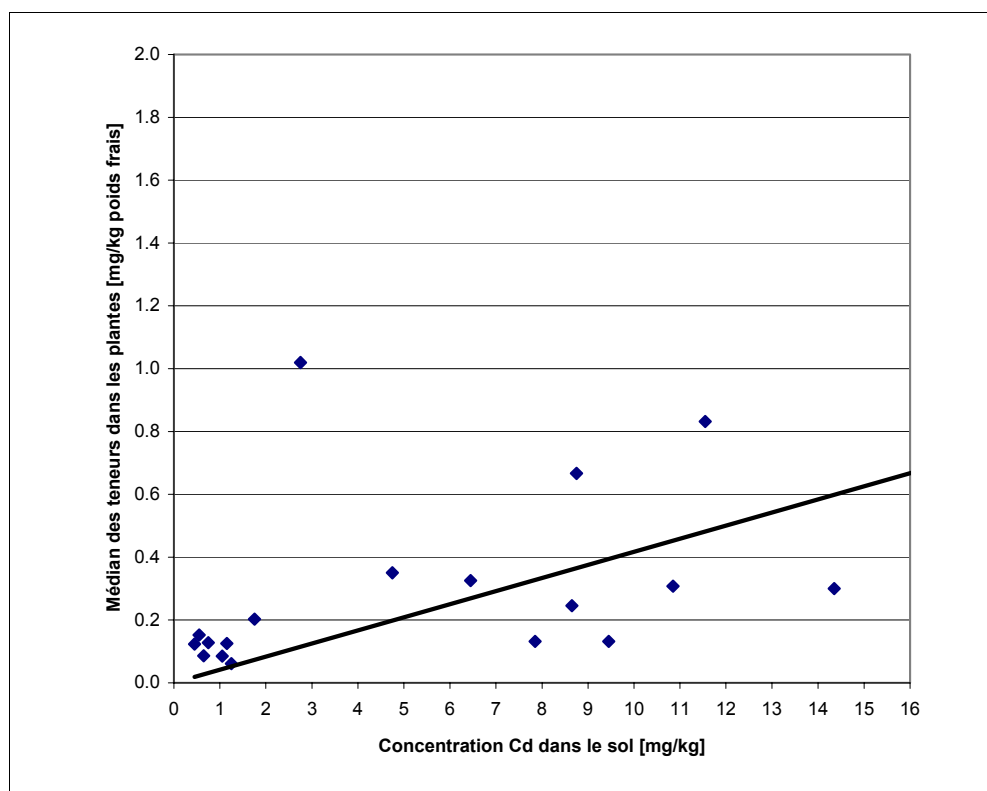
Le système expert a été étalonné pour le Cd de manière à ce que, pour l'association des facteurs susmentionnée, il indique une catégorie de « menace concrète » (au moins 5 points d'indice de menace) à partir d'une teneur du sol en Cd de 5 mg/kg. L'étalonnage a été effectué en passant le facteur toxicité T à une valeur de 0.5 point. Pour la notion de « menace concrète » cela signifie :

***Une menace ayant pour origine une concentration de polluant dans le sol est qualifiée de « menace concrète » lorsque la probabilité que des plantes alimentaires cultivées sur cette surface dépassent les valeurs limites de l'OSEC atteint 50% au moins.***

Même lorsque le système expert «cultures alimentaires» classe un risque dans la catégorie «*menace concrète potentielle*», des dépassements des valeurs limites de l’OSEC dans les plantes alimentaires sont encore très fréquents. En conséquence, il est à la fois utile et fondé de donner aux utilisateurs des recommandations des autorités.

Le résultat de l’étalonnage a été vérifié chaque fois par rapport au total des paires de variables utilisables (pour le Cd: 4992 paires de variables). Ce qui a permis de déterminer le taux de réussite et la diagnosticité. Pour les paires de variables classées par le système expert dans la catégorie «*menace concrète*», le taux de pertinence correspond à la proportion des valeurs limites de l’OSEC effectivement dépassées dans les plantes alimentaires.

Figure 10: Médianes des teneurs en Cd dans les plantes par tranche de 0.1 mg/kg (0–0.1, 0.1–0.2 mg/kg) et corrélation linéaire. Les médianes ne sont représentées que si 9 points de mesure au moins sont disponibles par tranche.



La diagnosticité se réfère seulement aux paires de variables qui correspondent à un dépassement des valeurs limites de l’OSEC dans les plantes alimentaires. Elle désigne pour des concentrations dans le sol inférieures à la valeur d’assainissement, la proportion des valeurs mesurées de teneurs dans le sol qui se trouvent dans le champ d’investigation. La diagnosticité met ainsi en évidence la part des cas «pro-

blématiques» (dépassement des valeurs limites de l’OSEC dans les plantes alimentaires) pour lesquels une évaluation de menace a effectivement été réalisée (cf. tab. 37).

Tableau 37: Taux de pertinence et diagnosticité pour Cd, Pb et Tl.

Éléments	Taux de pertinence [%]	Diagnosticité [%]
Cd	68.7	82.6
Pb	55.2	67.7
Tl	50.0	78.6

Si le taux de pertinence du Pb est inférieur, c’est que la variabilité du transfert sol–plante est connue pour être encore plus élevée que celle du Cd. Pour le Tl, la base de données ne compte que 116 paires de variables utilisables et elle est bien plus petite: le résultat est donc entaché d’une plus grande incertitude.

Les exemples du Cd et du Pb appellent à la prudence malgré le désir légitime de vouloir évaluer le plus grand nombre possible de substances polluantes avec les moyens les plus simples (p. ex. BÄCHI *et al.* 2004). Une telle approche accuse de sérieuses imprécisions même s’il existe une bonne base de données – comme pour les deux substances susnommées. Le système sol–plante est extrêmement complexe et il est quasiment impossible de le décrire avec des paramètres simplifiés à ce point.

Un système expert basé sur les teneurs du sol en polluants ne permet pratiquement pas de conclure à une menace (concrète) par les plantes alimentaires, si :

- la base de données est très peu fiable ;
- si aucune valeur maximale des teneurs dans les plantes n’est prescrite, ou
- si une partie importante des teneurs dans les plantes provient directement de dépôts de polluants atmosphériques sur les végétaux (polluants organiques notamment).

#### Cu et Zn

Pour le Cu et le Zn, les valeurs d’assainissement applicables aux jardins selon l’OSol sont fixées en fonction du risque de dommage aux végétaux (perte de rendement), et non en fonction des dangers pour l’homme (OFEFP 1997a). En conséquence, les facteurs de correction T des deux substances ont été abaissés autant que le permet le cadre légal (il y a forcément menace concrète à partir de la valeur d’assainissement). Il est ainsi garanti dans tous les cas que la catégorie «*menace concrète potentielle*» correspond à des valeurs inférieures aux valeurs d’assainissement. De cette manière, on évite de passer de la catégorie «*pas de menace concrète*» directement à la catégorie «*menace concrète*» (ce qui est illogique) lorsque les valeurs d’assainissement sont atteintes.

Pour les autres polluants inorganiques, l’OSEC ne prescrit aucune valeur limite concernant les plantes alimentaires. Il n’y en a pas non plus sur le plan international

(BERG & LICHT 2002). Pour étalonner le système expert, on a essayé d'utiliser les doses hebdomadaires tolérables provisoires PTWI de l'OMS comme doses étalons.

Les PTWI ont été fixés pour une large palette de polluants inorganiques (WATSON 2001, REILLY 2002, D'MELLO 2003). Mais il est très difficile de convertir les doses hebdomadaires encore tolérables pour l'homme en valeurs limites de polluants dans les plantes alimentaires.

Si l'on s'appuie, pour d'autres substances, sur les bases d'appréciation établies pour les PTWI Pb/Cd et que l'on calcule avec ces données, en se référant aux valeurs limites de l'OSEC pour le Pb et le Cd, des valeurs d'appréciation pour les substances en question, on obtient des résultats parfois irréalistes. Par exemple, la valeur limite pour les plantes, calculée par ce procédé pour le mercure (Hg), n'est atteinte que pour une teneur du sol en Hg de plusieurs centaines de mg/kg sol, soit plusieurs fois les valeurs BW III selon EIKMANN & KLOKE (1993).

De ce fait, on ne peut pas déterminer clairement le seuil de la «*menace concrète*» entre le seuil d'investigation et la valeur d'assainissement. Le facteur de correction T a été fixé à zéro – au sens de «non déterminable». Entre le seuil d'investigation et la valeur d'assainissement, la catégorie «*menace concrète*» n'est pas attribuée dans de tels cas (cf. tab. 8).

## **B Système expert «cultures fourragères»**

La banque de données TRANSFER de l'Office allemand de l'environnement [Umweltbundesamt – UBA] a été utilisée pour l'étalonnage du système expert «cultures fourragères»<sup>11</sup> (cf. annexe 9A).

Une partie seulement des données TRANSFER à disposition a été exploitée, celles compatibles avec les mesures selon l'OSol et le droit suisse sur les denrées fourragères. Les données utilisables pour l'étalonnage ont été sélectionnées selon les critères suivants:

### **Données disponibles**

1. *Espèces végétales*: espèces considérées comme plantes fourragères selon l'OLAIA;
2. *préparation des plantes*: non lavées et sans prétraitement;
3. *extraction sol*: à l'eau régale;
4. *pH du sol*: entre 4.25 et 7.75 (CaCl<sub>2</sub>);
5. *profondeur de prélèvement d'échantillons*: 0–20, 0–25 et 0–30 cm ainsi qu'essais en pot. Il s'agit ici du seul écart par rapport aux critères de l'OSol (profondeur de carottage 20 cm). Cet écart peut être considéré comme acceptable (brassage relativement bon de la terre des surfaces cultivées et des jardins, ainsi que dans les pots d'essai) et surtout il était nécessaire pour disposer d'une base de données suffisante.

---

<sup>11</sup> La banque de données TRANSFER a été gracieusement mise à disposition par l'office allemand de l'environnement (UBA), Dessau et par les Länder.



Sur la base de ces critères, 8503 paires de variables étaient utilisables pour l'étalonnage du système expert «cultures fourragères» (répartition par élément; cf. tab. 38).

Tableau 38: Nombre de paires de variables utilisables pour l'étalonnage du système expert «cultures fourragères».

Éléments	Nombre de paires de variables utilisables
As	49
Cd	1576
Cr	713
Cu	1341
Hg	611
Ni	1223
Pb	1503
Tl	0
Zn	1487

L'examen des données concernant As, Cr, Hg, Ni et Pb a montré que chez les animaux la quantité de polluants absorbée avec les plantes était insignifiante par rapport à la quantité ingérée par voie orale.

#### Cd, Cu, Zn

Pour les éléments Cd, Cu et Zn, l'étalonnage du système expert «cultures fourragères» a été effectué de la même manière que l'étalonnage du système expert «cultures alimentaires» pour les éléments Cd, Pb et Tl (cf. annexe 9A). C'est valable pour le cas *sans* ingestion par voie orale de sol ni souillures terreuses. Ensuite, les valeurs selon le tableau 39 ont été déterminées pour les taux de pertinence et la diagnosticité pour ces éléments (seulement absorption par les racines):

Tableau 39: Taux de pertinence et diagnosticité pour les substances Cd, Cu et Zn (seulement absorption par les racines).

Éléments	Taux de pertinence [%]	Diagnosticité [%]
Cd	66.9	78.4
Cu	62.2	70.9
Zn	72.8	84.3

Les incertitudes un peu plus grandes constatées pour le Cu pourraient s'expliquer par la petite taille de la base de données (seulement 89 paires de variables avec des teneurs du sol comprises entre le seuil d'investigation et la valeur d'assainissement).

La voie de contamination par ingestion directe ou souillures terreuses est indépendante de l'absorption par les racines. Les incertitudes sont exclusivement liées à la proportion de sol absorbée directement par les animaux de rente (facteur d; cf. tab. 13). Peu de données sont disponibles pour les quantités absorbées par cette voie. La banque de données TRANSFER ne contient aucune information à ce sujet.

La détermination du taux de pertinence et de la diagnosticité n'a pas été possible pour l'ensemble du système expert «cultures fourragères». La part relativement élevée de sol ingérée par les moutons peut surprendre au premier abord. L'ouvrage d'ABRAHAMS & STEIGMAJER (2003) indique que les pourcentages mentionnés au tableau 13 sont réalistes et qu'ils sont même parfois dépassés.

#### **Autres indications sur Cu et Hg**

Des concentrations relativement faibles de Cu dans le sol obligent à classer les cultures fourragères dans la catégorie «*menace importante*» s'agissant des moutons. Cela n'est pas directement lié au système expert mais au rapport entre teneur du sol en polluant, teneurs maximales selon l'OLAIA et souillures terreuses dans le fourrage. Si la concentration de Cu dans le sol est supérieure à 150 mg/kg et que l'ingestion de sol se situe entre 10 et 15% (par temps sec), la teneur en Cu du fourrage pour moutons de la surface polluée dépasse *dans tous les cas* le maximum de l'OLAIA de 15 mg/kg. L'OLAIA ne prescrit de teneur maximale pour le Cu que pour l'ensemble des aliments pour animaux de rente. C'est pourquoi on indique aussi les valeurs critiques pour aliments pour animaux selon BLUME (1992) car elles peuvent servir de valeurs d'appréciation pour les aliments simples.

Des concentrations de mercure relativement faibles dans le sol obligent à qualifier les cultures fourragères de «*menace importante*». L'explication est la même que pour le Cu. Si la concentration de mercure dans le sol est supérieure à 10 mg/kg (BW II comme équivalent au seuil d'investigation), la teneur maximale de l'OLAIA de 0.1 mg/kg est déjà dépassée dans le fourrage produit sur la surface contaminée et *dans tous les cas* à partir de 1% dans le sol. C'est pourquoi les pollutions du sol par le mercure sont considérées comme très problématiques pour l'utilisation «cultures fourragères». Elles sont cependant bien plus rares que les pollutions au Cu d'anciens vignobles.

### **C Système expert pour utilisations avec risque par ingestion**

Le système expert «utilisations avec risque par ingestion» a été comparé avec le «*modèle EHP*» [Environnement–Homme–Polluant = UMS, Umwelt–Mensch–Schadstoff] de l'office allemand de l'environnement (UBA 1998). Un étalonnage dans le sens propre du terme de ce système expert n'est pas réalisable avec un modèle, parce que ce dernier ne s'appuie pas sur des valeurs mesurées, mais sur des hypothèses. De plus, le «*modèle EHP*» considère des variables plus nombreuses et différentes, par exemple la distance entre la surface contaminée et les quartiers d'habitation, des pollutions de fond et une autre classification des âges. Dans le «*modèle EHP*», le risque est calculé à l'aide de «facteurs associés aux risques», qui sont différents selon les substances et pour lesquels les catégories «toxique» et «cancérogène» sont dissociées.

Pour la comparaison, la paramétrisation suivante du modèle EHP a été choisie :

- *polluants* : As, Pb, Cd, Cr, Ni, Hg, benzo(a)pyrène. Ce sont les substances du « modèle EHP » pour lesquelles EIKMANN & KLOKE (1993) et l'OSol recommandent des normes ou prescrivent des valeurs réglementaires ;
- *scénarios d'exposition* : « aires de jeux pour enfants » et « jardins » ;
- *distance à la zone habitée* : <500 m ;
- pour les trois critères de modélisation « quantités absorbées par le sol », « variables concernant la physiologie » (p. ex. parts résorbées) et « données spécifiques des substances », ce sont les valeurs prédéterminées dans le modèle qui ont été reprises.

Il n'est pas possible ici de représenter toutes les combinaisons de cas ; c'est pourquoi la comparaison est présentée ci-après par un exemple. Pour des pollutions du sol égales à 1.25 fois le seuil d'investigation ou la valeur BW II, un degré de couverture végétale de 80% et une fréquentation d'une à deux fois par semaine, les calculs donnent les résultats suivants pour l'utilisation « jardin ». Ceux-ci sont représentés dans le tableau 40.

Tableau 40 : Exemple pour la comparaison du système expert (SE) « risque par ingestion » avec le « modèle EHP ».

Polluants	Âge	SE	EHP	SE	EHP	SE	EHP	SE	EHP
		2 ans		5 ans		9 ans		14 ans et plus	
As		++	++	++	++	+	++	+	++
Pb		++	+	+	-	-	-	-	-
Cd		++	++	++	++	+	++	+	++
Cr		++	++	+	++	-	++	-	++
Ni		++	+	++	+	+	+	+	+
Hg		++	-	+	-	-	-	-	-
Benzo(a)pyrène		++	++	+	++	-	++	-	++

- ++ = « menace concrète » resp. « risque avéré »  
 + = « menace concrète potentielle » resp. « risque renforcé »  
 - = « pas de menace concrète » resp. « risque minime »

Les plus grands écarts entre le système expert et le « modèle EHP » se produisent pour le Cr, le Hg et le benzo(a)pyrène. Le « modèle EHP » ne tient compte explicitement que du Hg inorganique. De ce fait, les composés organiques hautement toxiques du Hg sont exclus. Pour l'arsenic (As), le Cr et le benzo(a)pyrène, le « modèle EHP » calcule des taux de risque très élevés pour les effets cancérigènes. Il calcule ainsi les mêmes catégories de risque pour les adultes que pour les très jeunes enfants. Ces différences montrent aussi que la comparaison entre ces deux approches est difficile.

# Annexe 10

## Tableaux pour valeurs indicatives, seuils d'investigation et valeurs d'assainissement

(cf. annexes 1 et 2 OSol ; SR 814.12)

### Annexe 1 OSol

#### 1 Polluants anorganiques

##### 1.1 Valeurs indicatives

Polluants	Teneurs (mg/kg de matière sèche jusqu'à 15 % de matière organique et mg/dm <sup>3</sup> au-dessus de 15 % de matière organique)	
	Teneur totale	Teneur soluble
Chrome (Cr)	50	–
Nickel (Ni)	50	0.2
Cuivre (Cu)	40	0.7
Zinc (Zn)	150	0.5
Molybdène (Mo)	5	–
Cadmium (Cd)	0.8	0.02
Mercure (Hg)	0.5	–
Plomb (Pb)	50	–
Fluor (F)	700	20

##### 1.2 Seuils d'investigation

Utilisation	Teneurs (mg/kg de matière sèche jusqu'à 15 % de matière organique et mg/dm <sup>3</sup> au-dessus de 15 % de matière organique)						Profondeur de prélèvement (cm)
	Plomb (Pb)		Cadmium (Cd)		Cuivre (Cu)		
	t	s	t	s	t	s	
Cultures alimentaires	200	–	2	0.02	–	–	0–20
Cultures fourragères	200	–	2	0.02	150	0.7	0–20
Risque par ingestion <sup>1</sup>	300	–	10	–	–	–	0–5

t = teneurs totales s = teneurs solubles  
<sup>1</sup> ingestion par voie orale, par voie dermale ou par inhalation

##### 1.3 Valeurs d'assainissement

Utilisation	Teneurs (mg/kg de matière sèche jusqu'à 15 % de matière organique et mg/dm <sup>3</sup> au-dessus de 15 % de matière organique)								Profondeur de prélèvement (cm)
	Plomb (Pb)		Cadmium (Cd)		Cuivre (Cu)		Zinc (Zn)		
	t	s	t	s	t	s	t	s	
Agriculture et horticulture	2000	–	30	0.1	1000	4	2000	5	0–20
Jardins privés et familiaux	1000	–	20	0.1	1000	4	2000		0–20
Places de jeux	1000	–	20	–	–	–	–	–	0–5

t = teneurs totales s = teneurs solubles

## 2 Polluants organiques

### 2.1 Valeurs pour les dioxines (PCDD) et les furanes (PCDF)

Valeurs		PCDD/PCDF <sup>1</sup> (en ng I-TEQ/kg de matière sèche de sol pour les sols jusqu'à 15 % de matière organique et en ng/dm <sup>3</sup> pour les sols au-dessus de 15 % de matière organique)	Profondeur de prélèvement (cm)
Valeur indicative		5	0–20
Seuils d'investigation	Risque par ingestion <sup>2</sup>	20	0–5
	Cultures alimentaires	20	0–20
	Cultures fourragères	20	0–20
Valeurs d'assainissement	Places de jeux	100	0–5
	Jardins privés et familiaux	100	0–20
	Agriculture et horticulture	1000	0–20

I-TEQ = équivalents de toxicité

<sup>1</sup> PCDD/PCDF = somme des polychlorodibenzo-p-dioxines et des polychlorodibenzofuranes

<sup>2</sup> Risque par ingestion par voie orale, par voie dermale ou par inhalation

### 2.2 Valeurs pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH)

Valeurs		PAH <sup>1</sup> (en mg/kg de matière sèche de sol pour les sols jusqu'à 15 % de matière organique et en mg/dm <sup>3</sup> pour les sols au-dessus de 15 % de matière organique)		Profondeur de prélèvement (cm)
		Somme des 16 congénères	Benzo(a)pyrène	
Valeur indicative		1	0.2	0–20
Seuils d'investigation	Risque par ingestion <sup>2</sup>	10	1	0–5
	Cultures alimentaires	20	2	0–20
Valeurs d'assainissement	Aires de jeux	100	10	0–5
	Jardins privés et familiaux	100	10	0–20

<sup>1</sup> La valeur d'appréciation se fonde sur la somme des 16 congénères-hydrocarbures aromatiques polycycliques PAH (liste des Priority pollutants de l'EPA/USA) : Naphtalène, Acénaphthylène, Acénaphthène, Fluorène, Phénanthrène, Anthracène, Fluoranthène, Pyrène, Benzo(a)anthracène, Chrysène, Benzo(b)fluoranthène, Benzo(k)fluoranthène, Benzo(a)pyrène, Indéno(1,2,3-cd)pyrène, Dibenzo(a,h)anthracène et Benzo(ghi)perylène.

<sup>2</sup> Risque par ingestion par voie orale, par voie dermale ou par inhalation

### 2.3 Valeurs pour les polychlorobiphényles (PCB)

Valeurs		PCB <sup>1</sup> (en mg/kg de matière sèche de sol pour les sols jusqu'à 15 % de matière organique et en mg/dm <sup>3</sup> pour les sols au-dessus de 15 % de matière organique)	Profondeur de prélèvement (cm)
Seuils d'investigation	Risque par ingestion <sup>2</sup>	0.1	0–5
	Cultures alimentaires	0.2	0–20
	Cultures fourragères	0.2	0–20
Valeurs d'assainissement	Places de jeux	1	0–5
	Jardins privés et familiaux	1	0–20
	Agriculture et horticulture	3	0–20

<sup>1</sup> Somme des 7 isomères selon la liste de l'IRMM (Institute for Reference Materials and Measurements), IUPAC-n° 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180

<sup>2</sup> Risque par ingestion par voie orale, par voie dermale ou par inhalation

# Index

## 1 Liste des abréviations

### **Agroscope SR**

Unité de l'Office fédéral de l'agriculture qui regroupe les cinq stations fédérales de recherches agronomiques suisse (p.ex. *Agroscope RAC Changins*)

### **BW**

Bodenwerte = valeurs de référence selon EIKMANN & KLOKE (1993)

### **DFE**

Département fédéral de l'économie, Berne

### **DFI**

Département fédéral de l'intérieur, Berne

### **DDPS**

Département fédéral de la défense, de la protection de la population et des sports, Berne

### **FAO**

Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)

### **Horizon A**

Couche supérieure de sol, au sens de la mise en œuvre de la protection de la qualité du sol

### **Horizon B**

Sous-sol, au sens de la mise en œuvre de la protection de la qualité du sol

### **Horizon C**

Roche-mère, au sens de la mise en œuvre de la protection de la qualité du sol

### **LPE**

Loi sur la protection de l'environnement (RS 814.01)

### **Modèle EHP**

Modèle « *Environnement-Homme-Polluant* » de l'Office allemand de l'environnement à Dessau (Umweltbundsamt UBA; *en allemand*: «Modell UMS»). Il sert à déterminer le risque émanant des sites présumés contaminés en fonction des concentrations de polluants tolérables du point de vue de la toxicité humaine (soit 19 substances organiques et 8 inorganiques – état 1998; cf. OFEFP, Document environnement n° 176, 1998, «*Schadstoffbelastete Böden – quantitative Modelle*»)

### **OAA**

Ordonnance sur les aliments pour animaux (RS 916.307)

### **ODAI**

Ordonnance sur les denrées alimentaires (RS 817.02)

### **OFAC**

Office fédéral de l'aviation civile, Berne

### **OFEFP**

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne

**OFSP**

Office fédéral de la santé publique, Berne

**OFT**

Office fédéral des transports, Berne

**OLAIA**

Ordonnance sur le Livre des aliments pour animaux (RS 916.307.1)

**OMS**

Organisation mondiale de la santé

**OSC**

Ordonnance sur les sites contaminés (RS 814.680)

**OSEC**

Ordonnance sur les substances étrangères et les composants  
(RS 817.021.23)

**OSol**

Ordonnance du 1<sup>er</sup> juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (RS 814.12)

**PAH**

Hydrocarbures aromatiques polycycliques

**PCB**

Polychlorobiphényles

**PCDD/F**

Polychlorodibenzo-*p*-dioxines et furanes («dioxines»)

**PTWI**

«*Provisional Tolerable Weekly Intake*» = dose hebdomadaire tolérable provisoire pour métaux lourds (OMS/FAO)

**PF**

Poids à l'état frais

**SI**

Seuils d'investigation (OSol)

**UE**

Union européenne

**VA**

Valeurs d'assainissement (OSol)

**VI**

Valeurs indicatives (OSol)

## 2 Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Le manuel a pour thème le domaine désigné par «sol».	11
<b>Figure 2:</b> Procédure selon la législation sur la protection des sols en cas de pollution ; fonction du présent manuel. [*Lorsque les valeurs réglementées selon l'OSol manquent, cf. chap. 7].	14
<b>Figure 3:</b> Procédure d'évaluation de la menace pour les cultures alimentaires. [OSEC : Ordonnance sur les substances étrangères et les composants; RS 817.021.23].	24
<b>Figure 4:</b> Détermination du facteur mobilité. Les valeurs des listes A à C sont reprises de DVWK (1988) et complétées pour le fluor de Keller & DESAULES (2001) et OFEFP (1997c). SELON SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2002; cf. p. 369) la mobilité du Tl est comparable à celle du Zn, la mobilité de l'As à celle du Cr.	26
<b>Figure 5:</b> Procédure pour évaluer la menace sur les cultures fourragères. [OLAIA : Ordonnance sur le livre des aliments pour animaux; RS 916.307.1].	33
<b>Figure 6:</b> Procédure pour évaluer la menace en cas d'utilisation du sol avec risque par ingestion (une évaluation détaillée du risque n'est pas proposée, car quasi impossible; cf. chap. 6.2).	43
<b>Figure 7:</b> Zones de test et de prélèvement d'échantillons pour analyser trois espèces de plantes A, B et C.	72
<b>Figure 8:</b> Vergleichstafeln für Deckungsgrade.	77
<b>Figure 9:</b> Teneurs en Cd des sols et des plantes. Facteurs: plantes avec forte capacité d'absorption de Cd (facteur espèce végétale = 2, pH 5.75–6.75, teneur en matières organiques ≤8%).	83
<b>Figure 10:</b> Médianes des teneurs en Cd dans les plantes par tranche de 0.1 mg/kg (0–0.1, 0.1–0.2 mg/kg) et corrélation linéaire. Les médianes ne sont représentées que si 9 points de mesure au moins sont disponibles par tranche.	84



### 3 Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b> Voie de contamination dans les cultures alimentaires.	16
<b>Tableau 2 :</b> Voies de contamination dans les cultures fourragères.	16
<b>Tableau 3 :</b> Voie de contamination en cas d'utilisation du sol avec risque par ingestion.	17
<b>Tableau 4 :</b> Classement des risques selon la pollution.	19
<b>Tableau 5 :</b> Classement des mesures à prendre en fonction des catégories de risque.	21
<b>Tableau 6 :</b> Facteurs espèce végétale pour plantes utiles et substances inorganiques.	27
<b>Tableau 7 :</b> Facteurs de correction T pour substances inorganiques (cultures alimentaires).	28
<b>Tableau 8 :</b> Catégories de risque selon le système expert pour les cultures alimentaires.	28
<b>Tableau 9 :</b> Teneurs maximales selon l'OSEC par rapport à l'OSol (état juillet 2004).	30
<b>Tableau 10 :</b> Catégories de risque pour les cultures alimentaires.	31
<b>Tableau 11 :</b> Teneur en polluants des plantes alimentaires propres (en mg/kg poids frais).	32
<b>Tableau 12 :</b> Teneurs maximales typiques selon l'OLAIA [état juillet 2004] et valeurs critiques pour fourrages selon BLUME (1992).	34
<b>Tableau 13 :</b> Sol ingéré par voie orale (vo) par les animaux de rente – directement pendant la pâture ou par des souillures terreuses du fourrage.*	37
<b>Tableau 14 :</b> Facteurs espèce plante fourragère et polluants inorganiques.	38
<b>Tableau 15 :</b> Facteurs de correction T pour substances inorganiques (cultures fourragères).	39
<b>Tableau 16 :</b> Coefficients de transfert sol–plante pour F, Co, Mo et Se.	39
<b>Tableau 17 :</b> Catégories de risque selon le système expert pour les cultures fourragères.	40

<b>Tableau 18 :</b> Catégories de risque pour les cultures fourragères.	42
<b>Tableau 19 :</b> Teneurs en polluants des plantes fourragères propres (en mg/kg MS).	42
<b>Tableau 20 :</b> Facteur âge A.	45
<b>Tableau 21 :</b> Facteur fréquence F.	46
<b>Tableau 22 :</b> Facteur couverture végétale C.	46
<b>Tableau 23 :</b> Catégories de risque selon système expert en cas de risque par ingestion.	46
<b>Tableau 24 :</b> Classement des mesures à prendre selon les catégories de risque.	51
<b>Tableau 25 :</b> Exemple de calcul pour cultures alimentaires (agriculture et horticulture).	58
<b>Tableau 26 :</b> Exemple de calcul pour cultures fourragères.	60
<b>Tableau 27 :</b> Exemple de calcul pour le cas de risque par ingestion (aire de jeux pour enfants).	62
<b>Tableau 28 :</b> Exemple de calcul pour cultures alimentaires (jardin privé).	63
<b>Tableau 29 :</b> Exemple de calcul pour une utilisation avec risque par ingestion (jardin privé).	64
<b>Tableau 30 :</b> 16 composés simples de PAH avec leurs équivalents de toxicité (effet cancérogène).	68
<b>Tableau 31 :</b> Niveaux d'exposition aux dioxines et aux furanes (OMS 1998, FIEDLER 2003).	71
<b>Tableau 32 :</b> Valeurs seuils inférieures et supérieures dans les fourrages pour évaluer la contamination globale des animaux de rente (MS = matière sèche).	73
<b>Tableau 33 :</b> Catégories de risque pour les plantes fourragères déterminées au moyen de valeurs seuils.	74
<b>Tableau 34 :</b> Écart critique pour différentes concentrations.	76
<b>Tableau 35 :</b> Nombre de paires de variables utilisables pour l'étalonnage du système expert «cultures alimentaires».	82

<b>Tableau 36 :</b> Associations de facteurs utilisées pour l'étalonnage de Cd, Pb et Tl.	82
<b>Tableau 37 :</b> Taux de pertinence et diagnosticité pour Cd, Pb et Tl.	85
<b>Tableau 38 :</b> Nombre de paires de variables utilisables pour l'étalonnage du système expert «cultures fourragères».	87
<b>Tableau 39 :</b> Taux de pertinence et diagnosticité pour les substances Cd, Cu et Zn (seulement absorption par les racines).	87
<b>Tableau 40 :</b> Exemple pour la comparaison du système expert (SE) «risque par ingestion» avec le «modèle EHP».	89

## 4 Bibliographie

### Textes législatifs

- Loi fédérale du 20 décembre 1968 sur la procédure administrative (RS 172.021).
- Loi fédérale du 7 octobre 1983 sur la protection de l'environnement (Loi sur la protection de l'environnement, LPE; RS 814.01).
- Loi fédérale du 3 février 1995 sur l'armée et l'administration militaire (LAAM; SR 510.10).
- Ordonnance du 1<sup>er</sup> mars 1995 sur les denrées alimentaires (ODAI; RS 817.02).
- Ordonnance du DFI du 26 juin 1995 sur les substances étrangères et les composants dans les denrées alimentaires (Ordonnance sur les substances étrangères et les composants, OSEC; RS 817.021.23).
- Ordonnance du 26 mai 1999 sur la production et la mise en circulation des aliments pour animaux (Ordonnance sur les aliments pour animaux, OAA; RS 916.307).
- Ordonnance du DFE du 10 juin 1999 sur la production et la mise dans le commerce des aliments pour animaux, des additifs destinés à l'alimentation animale, des agents d'ensilage et des aliments diététiques pour animaux (Ordonnance sur le Livre des aliments pour animaux, OLAIA; RS 916.307.1).
- Ordonnance du 1<sup>er</sup> juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol; RS 814.12).
- Ordonnance du 26 août 1998 sur l'assainissement des sites pollués (Ordonnance sur les sites contaminés, OSites; RS 814.680).
- Ordonnance du 18 mai 2005 sur la réduction des risques liés à l'utilisation de substances, de préparations et d'objets particulièrement dangereux (Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques, ORRChim; RS 814.81).
- Ordonnance du 18 mai 2005 sur la protection contre les substances et les préparations dangereuses (Ordonnance sur les produits chimiques, OChim; RS 813.11).

### Autres publications

- ABRAHAMS P.W., STEIGMAJER J., 2003: « *Soil ingestion by sheep grazing the metal enriched floodplain soils of Mid-Wales* ». Environm.Geochem.Health, 25, 17–24.
- AG BODEN, 1994: « *Bodenkundliche Kartieranleitung* ». Arbeitsgruppe Boden der Geologischen Landesämter der Bundesrepublik Deutschland, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ, « *Essai interlaboratoire OSol* ». Rapport annuel, Zurich.
- AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ, 1998: « *Manuel pour l'analyse des sols, des plantes et de l'eau de percolation lysimétrique* ». Les cahiers de la FAC n° 27, 228 p., Zurich.
- AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ, 1997: « *Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden* ». Cahier de la FAC n° 24, Zurich.
- AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ, 1996 (modifications 1997–2005): « *Schweiz. Referenzmethoden der Eidg. Landwirtschaftl. Forschungsanstalten* ». Zurich.
- AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ, 1990: « *Kriterien zur Beurteilung einiger Schadstoffgehalte von Futter- und Nahrungspflanzen* ». Schriftenreihe Nr. 8 der

- ehemaligen Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (IUL), 156 p., Liebefeld-Bern.
- AGROSCOPE FAL RECKENHOLZ, 1989: «*Methodik zur Bestimmung biologisch relevanter Schwermetallkonzentrationen im Boden und Überprüfung der Auswirkungen auf Testpflanzen sowie Mikroorganismen in belasteten Gebieten*». Schriftenreihe Nr. 2 der ehemaligen Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (IUL), 54 p., Liebefeld-Bern.
- AMT FÜR LANDWIRTSCHAFT DES KANTONS BERN, Abteilung Umwelt und Landwirtschaft, «*Bodenbericht 2003*». 51 p., Zollikofen.
- AMT FÜR LANDWIRTSCHAFT DES KANTONS BERN, Abteilung Umwelt und Landwirtschaft, 2001: «*Bodenbelastung Scherbenland Witzwil*». Schlussbericht, 37 p., Zollikofen.
- AMT FÜR UMWELTSCHUTZ DES KANTONS SOLOTHURN, 1998: «*Schadstoffbelastung von Hausgärten in der Stadt Olten*». 44 p., Soleur.
- AMT FÜR UMWELTSCHUTZ DES KANTONS SOLOTHURN, 1995: «*Schadstoffbelastung des Bodens und der Vegetation im Bereich von Schiessanlagen*». Soleure.
- AMT FÜR UMWELTSCHUTZ DES KANTONS SOLOTHURN, 1994: «*Untersuchungen der Schadstoffbelastung von Boden und Vegetation entlang von Kantonsstrassen sowie von Strassenwischgut*». Soleure.
- AMT FÜR UMWELTSCHUTZ DES KANTONS ST. GALLEN, 1995: «*Schwermetallaufnahme durch Kulturpflanzen auf belasteten Böden – ein fünfjähriger, praxisnaher Freilandversuch an der Landwirtschaftlichen Schule Rheinhof*». 58 p., Salez, Saint-Gall.
- AMT FÜR UMWELTSCHUTZ UND ENERGIE DES KANTONS BASEL-LANDSCHAFT, Umweltschutzzlabor, 1994: «*Schwermetalle in Futterpflanzen von cadmiumbelasteten Landwirtschaftsböden*». 29 p., Liestal.
- AMT FÜR UMWELTSCHUTZ UND WASSERWIRTSCHAFT DES KANTONS THURGAU, Bodenschutzfachstelle, 1995: «*Schwermetallbelastung von Böden in Siedlungen, Ergebnisse einer Untersuchung in Arbon, Bischofszell, Frauenfeld, Kreuzlingen und Romanshorn*». 8 p., Frauenfeld.
- ANDREY D., RIBS T., WIRZ E., 1988: Monitoring-Programm «*Schwermetalle in Lebensmitteln, II. Blei, Cadmium, Zink und Kupfer in Schweizer Kartoffeln*». Mitteilungen aus d. Gebiet der Lebensmitteluntersuchung u. Hygiene, 79, 327–338.
- BÄCHI B., FELDER D., GÜDEMANN O., LEIMGRUBER B., LOGEAY G., OETTERLI C., SPRUNGER D., WÜRMLI D., WYSSER M., CHRISTL I., VOEGELIN A., 2004: Gefährdungsabschätzung, in: Kretzschmar R. & Schulin R., «*Umgang mit Bodenbelastungen in Familiengärten der Stadt Zürich*». Abschlussbericht der Fallstudie des Dep. für Umweltnaturwissenschaften, Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), EPF Zurich, WS 2003/04, 65–110.
- BACHMANN G., OLTMANN J., KONIETZKA R., SCHNEIDER K., 1999: «*Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten – Ableitung und Berechnung von Prüfwerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung für den Wirkungspfad Boden–Mensch aufgrund der Bekanntmachung der Ableitungsmethoden und -massstäbe im Bundesanzeiger Nr. 161a vom 28. August 1999*». Ed. Umweltbundesamt, ISBN 3 503 058257, E. Schmidt Verlag, Berlin.

- BALMER M., KULLI B., 1994: «*Der Einfluss von NTA auf die Zink- und Kupferaufnahme durch Lattich und Raygras*». Travail de diplôme, 57 p., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), EPF Zurich.
- BAUDEPARTEMENT DES KANTONS AARGAU, Abteilung Umweltschutz, 1995: «*Bodenuntersuchungen in Gemüsegärten der Stadt Aarau*». 39 p., Aarau.
- BERG T., LICHT D., 2002: «*International legislation on trace elements as contaminants in food: a review*». Food Additives and Contaminants, 19, 916–927.
- BERGMANN W., 1993: «*Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen*». 3<sup>e</sup> édition, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- BLUME H.-P. (ED.), 1992: «*Handbuch des Bodenschutzes – Bodenökologie und -belastung, vorbeugende und abwehrende Schutzmassnahmen*». 2<sup>e</sup> édition, Ecomed, Landsberg/Lech.
- BREITSCHWERDT A., HERRECHEN M., KLEIN M., KÖRDEL W., STORM A., WAHLE U., 2002: «*Erhebungsuntersuchungen zum Transfer organischer Schadstoffe vom Boden in Nahrungs- und Futterpflanzen und Ableitung von Prüfwerten nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz*». Forschungsbericht Nr. 299 73 298, 126 p. (plus annexes), Umweltbundesamt, Dessau.
- CHAPMAN P.M., WANG F., JANSSEN C.R., GOULET R.R., KAMUNDE C.N., 2003: «*Conducting ecological risk assessments of inorganic metals and metalloids: current status*». Human and Ecological Risk Assessment, 9, 641–697.
- D’MELLO J.P.F. (ED.), 2003: «*Food safety – contaminants and toxins*». CABI Publishing, 452 p., Wallingford.
- DELSCHEN T., KÖNIG W., 1998: «*Untersuchung und Beurteilung der Schadstoffbelastung von Kulturböden im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Pflanze*». Dans: ROSENKRANZ et al. (ed.), Bodenschutz, ergänzbares Handbuch (manuel actualisable), Massnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, ISBN 3 503 02718 1, Kennzahl (code) 3550, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- DELSCHEN T., HEMBROCK-HEGER A., LEISNER-SAABER J., SOPCZAK D., 1999: «*Verhalten von PAK im System Boden/Pflanze*». Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung, 11, 79–87.
- DENZLER E., 1996: «*Bodensanierung mit Pflanzen, Zink- und Kupferaufnahme von indischem Senf und Lattich*». travail de diplôme, 75 p., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), EPF Zurich.
- DESAULES A., 2004: «*Die Vergleichbarkeit von Schwermetallanalysen in Böden – Konsequenzen für die Klassifizierung und Abgrenzung von Belastungsflächen an einem Fallbeispiel bei Dornach (SO)*». Bulletin de la Société suisse de pédologie, 27 p.
- DESAULES A., BÜHLER K., SCHERP K., SCHNELL S., ZURWEERA A., 1992: «*La contamination des sols due aux trafics routier et ferroviaire en Suisse, Département fédéral des transports, des communications et de l’énergie*». Office fédéral des routes et Office fédéral de l’environnement, des forêts et du paysage (ed.), Cahiers de l’environnement n° 185, 144 p., Berne.
- DOMSCH K.H., 1998: «*Pestizide im Boden*». Wiley VCH, ISBN 3 52728431 1, 585 p., Weinheim/New York/Basel/Cambridge.
- DVWK, 1988: «*Filtreigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen – Teil I: Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren*». Merkblätter zur Wasserwirtschaft, 212, Deutscher Verband für

- Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Bonn (ed.), Verlag Paul Parey, Hambourg et Berlin.
- EIKMANN T., HEINRICH U., HEINZOW B., KONIETZKA R. (ED.), 1999 :  
 « *Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen – ergänzbares Handbuch toxikologischer Basisdaten und ihre Bewertung* ». ISBN 3 503 050830 3, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- EIKMANN T., KLOKE A., 1993 : « *Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-)Stoffe in Böden* ». Dans: Rosenkranz D., Bachmann G., König W., Einsele G. (ed.), Bodenschutz – ergänzbares Handbuch (manuel actualisable) der Massnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, ISBN 3 503 02718 1, code 3590, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- EURACHEM/CITAC GUIDE, 2000 : « *Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement* ». Laboratory of the Government Chemist, 2<sup>e</sup> edition, 120 p., Londres.
- EURACHEM, 1995 : « *Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement* ». ISBN 0 948926 08 2, 87 p., Crown, Londres.
- EUROPEAN CHEMICALS BUREAU, 2003 : « *Technical Guidance Document on Risk Assessment* ». TGD Part II, Institute for Health and Consumer Protection, EUR 20418 EN/2, 328 p., Luxembourg
- FAC, 1990 : « *Critères permettant de juger quelques teneurs en polluants des plantes vivrières et fourragères* ». Les cahiers de la Station fédérale de recherches en chimie agricole et sur l'hygiène de l'environnement (devenue la FAL-Reckenholz) n° 8, 156 p., Berne-Liebefeld.
- FAC, 1989 : « *Méthode pour déterminer dans les sols les concentrations de métaux lourds disponibles pour les plantes et les microorganismes et vérification dans des régions contaminées* ». Les cahiers de la FAC (devenue la RAC-Reckenholz) n° 2, 54 p., Berne-Liebefeld.
- FIEDLER H., 2003 : « *Dioxins and Furans (PCDD/PCDF)* ». Handbook of Environmental Chemistry, vol. 3O, 123–201.
- FIEDLER H.J., RÖSLER, H.J. (ED.), 1988 : « *Spurenelemente in der Umwelt* ». Enke Verlag, Stuttgart.
- FRISCHE T., MEBES K.-H., FILSER J., 2003 : « *Assessing the bioavailability of contaminants in soils: a review on recent concepts* ». Research report no. 201 64214, 102 p., Umweltbundesamt, Dessau.
- FROSSARD R., BONO R., SCHMUTZ D., BUSER A., SIMON P., WENK P., SCHAUB S., 2000 : « *Cadmium in acht Weizensorten – Ergebnisse eines Anbauversuchs in Nenzlingen Basel-Landschaft* ». Mitt.Geb.Lebensm.Hyg., 91, 473–483.
- GEORGOPOULOS P.G., ROY A., YONONE-LIOY M. J., OPIEKUN R. E., LIOY P. J., 2001 : « *Environmental copper, its dynamics and human exposure issues* ». J.Toxicol.Envirn.Health, Part B 4, 341–394.
- GERECHT B., 2002 : « *Familiengärten – Altlast oder Ressource?* ». Travail de diplôme, 65 p., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), EPF Zurich.
- GIRARD M.-C., WALTER C., REMY J.-C., BERTHELIN J., MOREL J.-L., 2005 : « *Sols et environnement* ». ISBN 2 10005 520 8, 832 p., Collection Sciences Sup., Paris.
- GISI U., SCHENKER R., SCHULIN R., STADELMANN F.X., STICHER H., 1997 : « *Bodenökologie* ». 350 p., Thieme Verlag (2<sup>ième</sup> éd.), Stuttgart.

- GLÜKLER M., MÄDER K., STEIDLE F., 1995 : « *Nachuntersuchungen zur Schwermetallbelastung der Böden auf dem Familiengartenareal Zürich-Juchhof, Abklärungen zur Herkunft der Belastung, Beurteilung der gesundheitlichen Risiken und Erarbeitung eines Erkundungskonzeptes* ». Travail de diplôme, 124 p., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), EPF Zurich.
- GOBAT J.-M., ARAGNO M., MATTHEY W., 1998 : « *Le Sol vivant* ». Collection gérer l'environnement n° 14, Presses polytechniques et universitaires romandes, ISBN 2 88074 367 2, 519 p., Lausanne.
- GREIM H (HRSG.), 1972/2004 : « *Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe – Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten* ». Ergänzbares Handbuch, Deutsche Forschungsgemeinschaft, ISSN 0930–1984, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim.
- GRÜNENFELDER B., SCHMIDLI F., 1998 : « *Schwermetallbilanzierung belasteter Böden und ihre Anwendung im Rahmen der sanften Bodensanierung* ». Travail de diplôme, 81 p., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), EPF Zurich.
- GSPONER R., 1996 : « *Ursachendifferenziertes Vorgehen zur verdachtsorientierten Erkundung von Schwermetallbelastungen im Boden* ». Thèse n° 11 862, EPF Zurich.
- GUPTA S.K.; 1991 : « *Assessment of ecotoxicological risk of accumulated metals in soils with the help of chemical methods standardized through biological tests* ». Dans: Vernet J.-P. (ed.), Heavy metals in the environment, 55–65, Elsevier, Amsterdam.
- GUYONNET D., BOURGINE B., DUBOIS D., FARGIER H., CÔME B., CHILÈS J.-P., 2003 : « *Hybrid approach for addressing uncertainty in risk assessments* ». J.Environ.Engin., 129, 68–78.
- HAMMER D., 1997 : « *Schwermetallakkumulation durch Weidenstecklinge auf vier Schweizer Böden – Aufnahme-Effizienz in Abhängigkeit des Bodens* ». Travail de diplôme, 47 p., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), EPF Zurich.
- HAPKE H.-J., 1988 : « *Toxikologie für Veterinärmediziner* ». 259 p., Enke Verlag Stuttgart.
- HASSAUER M., KALBERLAH F., GRIEM P., 2001 : « *Zink und Verbindungen* ». Dans: Eikmann T., Heinrich U., Heinzow B., Konietzka R. (ed.), Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen, ergänzbares Handbuch (manuel actualisable) toxikologischer Basisdaten und ihrer Bewertung, code D 985, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- HEPPERLE E.U., 2001 : « *Umsetzung des Verursacherprinzips bei bodenschutzrechtlichen Massnahmen* ». Umweltrecht in der Praxis, 15, n° 10, 1017–1038.
- HORNBURG V., BRÜMMER, G.W., 1993 : « *Verhalten von Schwermetallen in Böden – Untersuchungen zur Schwermetallmobilität* ». Z.Pflanzenernähr.Bodenk., 156, 467–477.
- HORWITZ W., 2003 : « *The certainty of uncertainty* ». J.Associat.Offic.Anal.Chemists (AOAC) International, 86, no. 1, 109–111.
- IPE, 1994 : « *Chemical composition of various plant species* ». International Plant-Analytical Exchange, Wageningen Agricultural University, Pays-Bas.
- JARDINE C.G., HRUDEY S.E., SHORTREED J.H., CRAIG L., KREWSKI D., FURGAL C., MCCOLL S., 2003 : « *Risk management frameworks for human health and environmental risks* ». J.Toxicol.Environ.Health, Part B 6, 569–641.



- KELLER A. *et al.*, 2005: «*Schwermetallbilanzen von Landwirtschaftsparzellen der Nationalen Bodenbeobachtung*». Schriftenreihe Nr. 54, station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture (Agroscope FAL Reckenholz), 55 p., Zurich.
- KELLER T., DESAULES A., 2001: «*Kartiergrundlagen zur Bestimmung der Bodenempfindlichkeit gegenüber anorganischen Schadstoffeinträgen in der Schweiz*». Agroscope FAL Reckenholz, 81 p., Zurich.
- KANTONALES LABORATORIUM AARGAU, 1995: «*Schwermetalle im Gemüse aus Aarauer Gärten*». 13 p., Aarau.
- KESSLER J., 1993: «*Schwermetalle in der Tierproduktion*». Landwirtschaft Schweiz, 6, 273–277.
- KIRCHGESSNER M., 1997: «*Tierernährung*». 11<sup>e</sup> édition, DLG Verlag, Francfort.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (ed.), 1997a: «*Stoffbericht Polychlorierte Biphenyle (PCB)*». Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 121 p., 16/95.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (ed.), 1997b: «*Stoffbericht Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)*». Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, 249 p., 34/97.
- LITZ, WILCKE, WILKE, 2005, «*Bodengefährdende Stoffe – Bewertung, Stoffdaten, Ökotoxikologie, Sanierung*». Ergänzenbares Handbuch (manuel actualisable) ecomed, ISBN 3 609 52001 9, Hüthig Jehlen Rahm GmbH, Landsberg am Lech.
- LUDWIG C., MÄRKI M., 1997: «*Schwermetallaufnahme von Futterrüben in Abhängigkeit von der Düngung – Risikoabschätzung für Pflanze, Mensch und Tier*». Travail de diplôme, 45 p., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), EPF Zurich.
- MERGENTHALER B., RICHNER T., 2002: «*Mobilität und geochemisches Verhalten von Antimon im Boden von Schiessanlagen*». Travail de diplôme, 54 p., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), EPF Zurich.
- MERIAN E., 1991: «*Metals and their compounds in the environment – occurrence, analysis, and biological relevance*». VCH Verlagsgesellschaft, ISBN 3 527 26521 X, 1438 p., Weinheim/New York/Basel/Cambridge.
- MEULI R.G., 1997: «*Geostatistical Analysis of Regional Soil Contamination by Heavy Metals*». Diss. ETHZ no. 12121, 191 p., Zurich.
- MOSCHANDREAS D.J., KARUCHIT S., 2002: «*Scenario-model-parameter: a new method of cumulative risk uncertainty analysis*». Environment International, 28, 247–261.
- MUNTWYLER T., SCHAUB D., KUHN E., ARNET R., 2002: «*Landwirtschaftliche Nutzung im Bereich von Schiessanlagen – Gefährdungsabschätzung*». Umwelt Aargau, Sondernummer 14, 34 p., Aarau.
- NISBET I.C.T, LAGOY P.K., 1992: «*Toxic Equivalent Factors for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)*». Reg.Toxicol.Pharm., 16, 290–300.
- NRC, 1980: «*Mineral Tolerance for Domestic Animals*». National Research Council, 577 p., Washington D.C.
- OFEFP, 2005: «*Les polluants atmosphériques azotés en Suisse*». Rapport de la Commission fédérale de l'hygiène de l'air, Cahier de l'environnement n° 384, 176 p., Berne.
- OFEFP, 2004a: «*Le phosphore dans les sols – état de la situation en Suisse*». Cahier de l'environnement n° 368, 180 p., Berne.

- OFEFP, 2004b: «*Gewässerschutz – Verlagerung gelöster Stoffe durch den Boden ins Grundwasser*». Cahier de l'environnement n° 349, 47 p., Berne.
- OFEFP, 2004c: «*Schwermetallbelastete Böden – Quantitative Modelle zur Abschätzung der Gefährdung von Mensch und Umwelt – Evaluationsbericht*». Documents environnement n° 176, 68 p., Berne.
- OFEFP, 2003: Manuel: «*Prélèvement et préparation d'échantillons de sols pour l'analyse de substances polluantes*». L'environnement pratique, 100 p., Berne.
- OFEFP, 2001a: «*Commentaires concernant l'ordonnance du 1<sup>er</sup> juillet 1998 sur les atteintes portées au sol (OSol)*». L'environnement pratique, 45 p., Berne.
- OFEFP, 2001b: Instructions: «*Évaluation et utilisation de matériaux terreux – Instructions matériaux terreux*». L'environnement pratique, 20 p., Berne.
- OFEFP, 1998: «*Richt-, Prüf- und Sanierungswerte für organische Schadstoffe im Boden – Fallbeispiel PAK*». Documents environnement n° 96, 111 p., Berne.
- OFEFP, 1997a: «*Établissement de seuils d'investigation et de valeurs d'assainissement pour les polluants inorganiques dans les sols*». Documents environnement n° 831, 109 p., Berne.
- OFEFP, 1997b: «*Dioxine und Furane – Standortbestimmung, Beurteilungsgrundlagen, Massnahmen*». Cahier de l'environnement n° 290, 127 p., Berne.
- OFEFP, 1997c: «*Zur chemischen Belastung von Böden – eine synoptische Darstellung der Schadstoffgehalte und Bindungsstärken der Böden des NABO*». Documents environnement n° 77, 63 p., Berne.
- OFEFP, 1996: «*Sols pollués – métaux lourds et plantes bioindicatrices*». Documents environnement n° 58, 245 p.
- OFSP, 1998: «*Quatrième rapport sur la nutrition en Suisse*». 649 p., Berne.
- OFSP, 1991: «*Troisième rapport sur la nutrition en Suisse*». 564 p., Berne.
- OFSP, 1989: «*Manuel suisse des denrées alimentaires*». Berne.
- OMS, 2002: «*Safety evaluation of certain food additives and contaminants*». 692 p., Organisation mondiale de la Santé, food additive series, n° 48, Genève.
- REILLY C., 2002: «*Metal contamination of food – Its significance for food quality and human health*». 3<sup>e</sup> édition, 266 p., Blackwell, Oxford.
- RIGON S., SCHIB E., STENZ B., 1993: «*Die ehemalige Deponie Les Abattes bei Le Locle – Untersuchungen zu den Auswirkungen der schwermetallbelasteten Auflageschicht auf Pflanzen und Untergrund*». Travail de diplôme, 209 p., Institut für Terrestrische Ökologie (ITÖ), EPF Zurich.
- ROSENKRANZ D., BACHMANN G., KÖNIG W., EINSELE G. (HERAUSG.), 1988: «*Bodenschutz*». Ergänzbare Handbuch (manuel actualisable) der Massnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaften und Grundwasser, ISBN 3 503 02718 1, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- SCHEFFER F., SCHACHTSCHABEL P., 2002: «*Lehrbuch der Bodenkunde*». 15<sup>e</sup> édition, ISBN 3 8274 1324 9, 593 p., Spektrum, Heidelberg.
- SCHNEIDER K., KALBERLAH F., 2000: «*Kupfer und Verbindungen*». Dans: EIKMANN T., HEINRICH U., HEINZOW B., KONIETZKA R. (ed.), Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen, ergänzbares Handbuch (manuel actualisable) toxikologischer Basisdaten und ihrer Bewertung, ISBN 3 503 050830 3, Kennzahl D 577, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- SCHULIN R., DESAULES A., WEBSTER R., VON STEIGER B., 1993: «*Soil monitoring – early detection and surveying of soil contamination and degradation*». Monte Verità Proceedings, Birkhäuser Verlag, 362 p., Basel.

- STARR C., WHIPPLE C., 1980: «*Risks of risk decision*». *Science*, n° 208, 1114–1119.
- TSCHANNEN P., 1999: «*Erläuterungen zum Bodenschutz (Art. 33–35)*». Dans:  
Kommentar zum Umweltschutzgesetz, édité par l'Association pour le droit à l'environnement et Helen Keller, Zurich.
- WALTHERT L. *et al.*, 2004, et BLASER P. *et al.*, 2005: «*Waldböden der Schweiz*». Vol. 1 et 2, ISBN 3 03905 131 8, 768 p., resp. 920 p., h.e.p. verlag ag, Berne.
- WATSON D.H. (ed.), 2001: «*Food chemical safety*». Vol. 1, Contaminants, 322 p., CRC Press, Boca Raton.
- WENK P., BONO R., DUBOIS J.P., GENOLET F., 1997: «*Cadmium in Böden und Getreide im Gebiet Blauen/Nenzlingen, Basel-Landschaft*». *Mitt.Geb.Lebensm.Hyg.*, 88, 570–592.
- WILLIAMS P.R.D., PAUSTENBACH D.J., 2002: «*Risk characterization, Principles and practice*». *J.Toxicol.Envirn.Health, Part B* 5, 337–406.

### **Informations supplémentaires**

- Droit de l'Union européenne et documents de l'Union européenne (Droit européen) sur Internet: [http://europa.eu.int/documents/eur-lex/index\\_fr.htm](http://europa.eu.int/documents/eur-lex/index_fr.htm)
- OMS/FAO, 2003: «*Summary and conclusions of the Joint FAO/WHO Expert committee on food additives (JECFA)*». 61<sup>st</sup> meeting in Rome, 10–19<sup>th</sup> June 2003; Annex 4 on Cd.
- UBA, 1998: Modell «*Exposition der Schutzgüter Umwelt und Mensch mit Schadstoffen (UMS/franz. EHP)*». Version 2.10, ARGE Fresenius – focon und Chemlog GBR, IfUA GmbH, Dessau.