



L'environnement pratique

MANUEL



**Prélèvement
et préparation
d'échantillons de sols
pour l'analyse de
substances polluantes**



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

MANUEL

**Prélèvement
et préparation
d'échantillons de sols
pour l'analyse de
substances polluantes**

Manuel de prélèvement sol (OSol)

**Publié par l'Office fédéral
de l'environnement, des forêts
et du paysage OFEFP
Berne, 2003**

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 permet ainsi une application uniforme de la législation. Les aides à l'exécution (appelées aussi directives, instructions, recommandations, manuels, aides pratiques) paraissent dans la collection « L'environnement pratique ».

Ces aides à l'exécution garantissent l'égalité devant la loi ainsi que la sécurité du droit, tout en favorisant la recherche de solutions adaptées aux cas particuliers. Si l'autorité en tient compte, elle peut partir du principe que ses décisions seront conformes au droit fédéral. D'autres solutions ne sont pas exclues; selon la jurisprudence, il faut cependant prouver leur conformité avec le droit en vigueur.

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)

Rapport

Elaboré par: Geotechnisches Institut AG,
Gubelstrasse 28, 8050 Zürich
sous la direction de la
Station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture (FAL), 8046 Zürich-Reckenholz

Auteurs

Markus Hämman, Geotechnisches Institut AG
André Desales, FAL (direction du projet)

Collaboration

Ruedi Dahinden, NABO, FAL
Konrad Studer, NABO, FAL
Reiner A. Mailänder, Geotechnisches Institut AG
Reto Schreier, Geotechnisches Institut AG

Groupe d'experts

Johannes Dettwiler, OFEFP
Peter Federer, Amt für Umweltschutz, Herisau
Michel Gratier, Service des eaux, sols et assainissement, Lausanne
Armin Keller, Institut für terrestrische Ökologie, ETH Zürich
Jiri Presler, Babu GmbH, Zürich
Thomas Schmid, Fachstelle Bodenschutz, Zürich
Lorenz Walthert, Institut fédéral de recherches WSL, Birmensdorf

Traduction:

Bureau Zahner – Géologie & Environnement
1700 Fribourg

Photos en couverture

NABO-Gruppe, FAL, Zürich-Reckenholz

Commande

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Documentation, CH-3003 Berne
Fax + 41 (0)31 324 02 16
E-mail: docu@buwal.admin.ch
Internet: www.buwalshop.ch
Numéro de commande: VU-4814-F

Table des matières

	page
ABSTRACTS	7
AVANT-PROPOS	9
1 Introduction	11
1.1 Généralités	11
1.2 Objet	11
1.3 Champ d'application	12
1.4 Contenu et structure	13
2 Principes et garantie de qualité	15
2.1 Variabilité spatiale et hétérogénéité, sources d'incertitude	15
2.2 Qualité des prélèvements	17
2.2.1 <i>Critères de qualité</i>	17
2.2.2 <i>Système d'assurance de la qualité</i>	17
3 Principes de l'échantillonnage	19
3.1 Questions et objectifs	19
3.2 Enquête préalable	19
3.2.1 <i>Moyens</i>	19
3.2.2 <i>Hypothèses de travail</i>	19
3.3 Programme d'étude	20
3.4 Plan d'échantillonnage	20
3.4.1 <i>Remarques préliminaires</i>	20
3.4.2 <i>Dispositif de prélèvement</i>	21
3.4.3 <i>Type d'échantillons</i>	24
3.4.4 <i>Constitution d'échantillons composés</i>	25
3.4.5 <i>Profondeur de prélèvement</i>	27
3.4.6 <i>Quantités à prélever</i>	28
3.4.7 <i>Description du site</i>	28
4 Etudes à long terme et études de référence	29
4.1 Questions et objectifs	29
4.1.1 <i>Etudes à long terme</i>	29
4.1.2 <i>Etudes de référence</i>	29
4.2 Enquête préalable	29
4.3 Programme d'étude	29
4.4 Plan d'échantillonnage	30
4.4.1 <i>Plan d'échantillonnage pour le prélèvement initial et pour les études de référence</i>	30
4.4.2 <i>Plan d'échantillonnage pour les prélèvements ultérieurs</i>	31
4.4.3 <i>Constitution d'échantillons composés représentatifs de surface</i>	31

5	Délimitation spatiale des sols pollués	35
5.1	Questions et objectifs	35
5.2	Enquête préalable	35
	5.2.1 <i>Marche à suivre</i>	35
	5.2.2 <i>Hypothèses de travail</i>	36
5.3	Programme d'étude	36
5.4	Plan d'échantillonnage	37
	5.4.1 <i>Dispositif de prélèvement</i>	37
	5.4.2 <i>Type d'échantillons</i>	40
	5.4.3 <i>Constitution d'échantillons composés</i>	40
	5.4.4 <i>Profondeur de prélèvement</i>	40
	5.4.5 <i>Description du site</i>	41
	5.4.6 <i>Quantités à prélever</i>	41
6	Exécution des prélèvements	43
6.1	Information des personnes concernées	43
6.2	Mesures de sécurité	43
6.3	Recherche d'obstacles souterrains et demandes d'autorisation	43
6.4	Personnel	44
6.5	Programme	44
6.6	Quantités à prélever	44
6.7	Instruments pour le prélèvement des échantillons	45
6.8	Constitution d'échantillons non remaniés	46
6.9	Fiches	46
6.10	Implantation des placettes de prélèvement	47
6.11	Emballage, étiquetage et transport des échantillons	48
7	Préparation et archivage des échantillons	49
7.1	Etapes de la préparation des échantillons	49
7.2	Archivage des échantillons	51
	7.2.1 <i>Echantillons à archiver</i>	51
	7.2.2 <i>Conditions d'archivage</i>	51
8	Commentaires aux fiches	52
9	Références bibliographiques	69
	Annexes	73
	<i>Annexe 1: Check-list "Qualité"</i>	
	<i>Annexe 2: Sources d'émissions et polluants potentiels</i>	
	<i>Annexe 3: Dépassements naturels des teneurs de fond</i>	
	<i>Annexe 4: Relevé des données nécessaires à l'établissement du bilan des substances pour les surfaces agricoles</i>	
	<i>Annexe 5: Fiches</i>	

Liste des figures

<i>Figure 1:</i>	Champ d'application	12
<i>Figure 2:</i>	Enchaînement des opérations de prélèvement et de préparation des échantillons	14
<i>Figure 3:</i>	Stratégie d'échantillonnage et de réduction des échantillons	15
<i>Figure 4:</i>	Eléments du plan d'échantillonnage	21
<i>Figure 5:</i>	Dispositif de prélèvement pour les études à long terme	32
<i>Figure 6:</i>	Règle des deux valeurs utilisée pour la délimitation spatiale	37
<i>Figure 7:</i>	Implantation de la placette de prélèvement	47

Liste des tableaux

<i>Tableau 1:</i>	Méthodes d'extraction et d'analyse	11
<i>Tableau 2:</i>	Questions utiles pour formuler les hypothèses de travail	19
<i>Tableau 3:</i>	Points à prendre en compte pour établir le programme d'étude	20
<i>Tableau 4:</i>	Dispositif de prélèvement pour l'étude des polluants du sol	23
<i>Tableau 5:</i>	Dispositifs de prélèvement pour la constitution d'échantillons représentatifs d'une surface au moyen d'échantillons simples	26
<i>Tableau 6:</i>	Critères à prendre en compte pour la répartition des points de prélèvement utiles aux études à long terme et aux études de référence	30
<i>Tableau 7:</i>	Critères à prendre en compte pour l'implantation locale des points de prélèvement utiles aux études à long terme et aux études de référence	31
<i>Tableau 8:</i>	Aide à la décision pour l'établissement du plan d'échantillonnage dans la couche supérieure du sol	33
<i>Tableau 9:</i>	Aide à la décision pour l'établissement du plan d'échantillonnage dans le sous-sol	34
<i>Tableau 10:</i>	Méthodes d'analyse	36
<i>Tableau 11:</i>	Aide à la décision pour l'établissement du plan d'échantillonnage	38
<i>Tableau 12:</i>	Profondeurs de prélèvement selon OSol (1998)	41
<i>Tableau 13:</i>	Domaine et limites d'utilisation des instruments pour le prélèvement	45

ABSTRACTS

This manual is concerned with sampling techniques and the physical preparation of samples for use in the analysis of soil pollutants. It begins with a discussion of the basic problems connected with sampling, and considers certain aspects of quality assurance. Following a presentation of the principles underlying the sampling plan, choice of location and long-term and reference studies, detailed instructions on the performance of surveys and the preparation of samples are given. Finally, practical survey forms are presented and discussed.

Key words: sampling, preparation of samples, soils, pollutants

Das Handbuch befasst sich mit der Probenahme und physikalischen Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden. Vorangestellt sind Grundprobleme der Probenahme und Aspekte der Qualitätssicherung. Nach der Darstellung allgemeiner Grundlagen zu Probenahmeplan, räumlicher Abgrenzung sowie Langzeit- und Referenzuntersuchungen folgt eine konkrete Anleitung zur Durchführung der Probennahme und Probenvorbereitung. Für die Praxis hilfreich sind die erläuterten Protokollformulare.

Stichwörter: Probenahme, Probenvorbereitung, Böden, Schadstoffe

Ce manuel traite du prélèvement et de la préparation physique d'échantillons de sols en vue de l'analyse de substances polluantes dans les sols. Dans un premier temps sont abordés les problèmes de base de l'échantillonnage et certains aspects de la garantie de qualité. La présentation des principes du plan d'échantillonnage, de la délimitation spatiale ainsi que des études à long terme et de référence est suivie par des instructions concrètes concernant l'exécution des prélèvements et la préparation des échantillons. Le manuel est complété par des fiches commentées utiles pour la pratique.

Mots-clefs: prélèvement d'échantillons, préparation des échantillons, sols, substances polluantes

Il presente manuale illustra il procedimento per il prelievo ed il pretrattamento di campioni di terreno ai fini dell'analisi delle sostanze nocive presenti nei suoli. Vengono innanzitutto spiegati i problemi di fondo legati al prelievo e gli aspetti relativi alla garanzia della qualità. La presentazione dei principi generali per il piano di campionamento, la delimitazione spaziale e le analisi a lungo termine e di riferimento è seguita da istruzioni concrete sull'esecuzione del prelievo e sulla preparazione dei campioni. Utili dal punto di vista pratico sono infine gli schemi per la redazione dei verbali di campionamento, completi delle necessarie spiegazioni.

Parole chiave: prelievo di campioni, pretrattamento dei campioni, suoli, inquinanti

AVANT-PROPOS

La connaissance de la teneur en polluants des sols est une condition essentielle pour assurer une protection proportionnée et néanmoins efficace des sols au sens de la loi sur la protection de l'environnement. Comme les données relevées entraînent souvent des mesures coûteuses et restrictives destinées à garantir la fertilité du sol et à protéger l'homme, les animaux et les plantes, la manière dont elles sont traitées revêt une grande importance. Elles doivent permettre des comparaisons au niveau suisse, et cela également en perspective d'un suivi à long terme des modifications. Ce qui exige une méthodologie solide, susceptible de réduire au minimum le nombre de sources d'erreurs.

Ce manuel traite de deux domaines particulièrement importants pour les analyses de sols, à savoir le prélèvement et la préparation des échantillons de sols. Quant à l'extraction et à l'analyse des substances polluantes, elles sont décrites en partie directement dans l'ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol), ainsi que dans d'autres publications.

Ces recommandations pour l'exécution apportent sans aucun doute une nouvelle pierre à l'élaboration de la protection des sols en Suisse, et représentent un pas important vers une mise en œuvre uniformisée et appropriée des prescriptions légales.

Nous remercions toutes les personnes qui ont contribué au succès de ce manuel ainsi que celles qui l'utiliseront pour la sauvegarde des sols.

Station fédérale de recherche
en agroécologie et agriculture
Controlling écologique des produits

Le responsable

Michael Winzeler

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

Division Substances, sol,
biotechnologies

Le chef

Georg Karlaganis

1 Introduction

1.1 Généralités

Le présent manuel technique se concentre sur le prélèvement et la préparation d'échantillons de sols en vue de l'analyse de substances polluantes. Il remplace dans ce domaine les "Directives pour le prélèvement d'échantillons de sols et l'analyse des substances polluantes" publiées en 1987 (OFEFP, FAC 1987), ainsi que les compléments d'information correspondants (OFEFP et FAC 1989; Desaulles 1995).

Les méthodes d'analyse et d'extraction sont désormais décrites dans d'autres publications (cf. tab. 1). La révision de la *Loi fédérale sur la protection de l'environnement (LPE 1983)*, intervenue en décembre 1995, et le remplacement de l'Ordonnance sur les polluants du sol (OSol 1986) par l'*Ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol 1998)*, ainsi que l'état de la technique motivent cette nouvelle approche.

Tableau 1: Méthodes d'extraction et d'analyse

Polluants	Méthode
Substances minérales selon OSol	- Annexe 1, OSol (1998) - Méthodes de référence des stations fédérales de recherches agronomiques (<i>FAL et al 1995</i> , mise à jour annuelle) - Manuel pour l'analyse des sols, des plantes et de l'eau de percolation lysimétrique (<i>FAL 1998</i>)
Substances organiques selon OSol	- Annexe 2, OSol (1998) - Méthodes recommandées pour l'analyse des PAH, PCB, dioxines et furanes (<i>OFEFP 2000a, 2001c-d, 2003</i>)
Autres polluants	- Méthodes appropriées reconnues

1.2 Objet

Conçu en premier lieu pour les autorités d'exécution, ce manuel s'adresse aussi aux spécialistes des bureaux privés. Il expose les principes du prélèvement et de la préparation des échantillons de sols, et propose des recommandations et des aides à la décision accompagnées d'explications pour l'organisation et l'exécution des opérations. Le manuel a donc pour objet:

- d'exposer aux personnes concernées les problèmes rencontrés lors du prélèvement et de la préparation d'échantillons de sols,
- de contribuer à uniformiser les méthodes d'étude, et
- d'assurer la qualité des résultats.

1.3 Champ d'application

Le manuel définit le prélèvement et la préparation d'échantillons pour l'étude des atteintes chimiques portées aux sols, au sens de l'alinéa 4^{bis} de l'article 7 LPE. Par sol, la LPE entend la couche de terre meuble où peuvent pousser les plantes (*fig. 1*).

L'ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol) prévoit d'effectuer des analyses de sol dans les situations suivantes:

- Observation et surveillance des atteintes portées aux sols (art. 3 et 4 OSol). Sont comprises ici les études exécutées pour la gestion des réseaux nationaux (NABO) et cantonaux de référence (KABO).
- Etude et évaluation des atteintes portées aux sols, lors du dépassement d'une valeur indicative, d'un seuil d'investigation ou d'une valeur d'assainissement (art. 5, 8, 9 et 10 OSol). Dans ces cas, il s'agit d'atteintes susceptibles de réduire la fertilité des sols au sens de l'art. 2 OSol, donc de menacer leur biocénose, les plantes naturelles ou cultivées qui s'y développent, les animaux qui y paissent, les enfants qui y jouent et toutes les personnes qui en consomment les produits.
- Evaluation des possibilités de réutilisation de matériaux terreux (art. 7 OSol; *"Instructions matériaux terreux", OFEFP 2001a*).

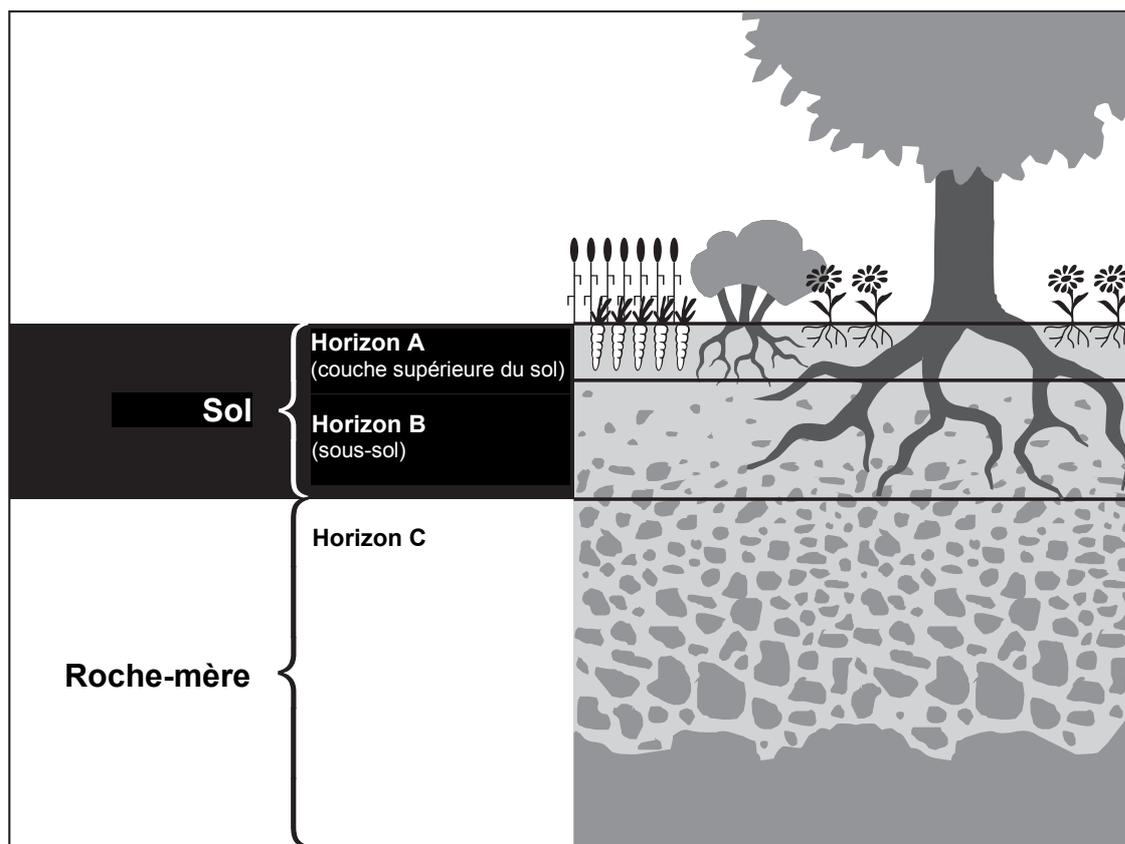


Figure 1: Champ d'application (arrière-plan en noir)

Pour les sites pollués, au sens de l'*Ordonnance sur les sites contaminés (OSites)*, ce manuel ne s'applique que si :

- les sites pollués portent atteinte aux sols;
- les sols réputés sites pollués portent atteinte à l'homme, aux animaux et aux plantes.

Ce manuel ne s'applique donc pas à l'étude d'autres types d'atteintes provoquées par les sites pollués au sens de l'OSites (par ex. pollution des eaux souterraines et superficielles, de l'air interstitiel ou de l'air en général). Dans ces cas, le prélèvement d'échantillons se fait conformément à la recommandation pour l'exécution "*Prélèvement d'échantillons solides sur les sites pollués*" (OFEFP).

La procédure de prélèvement ne dépend donc pas de la situation du sol considéré, mais bien de la raison pour laquelle il doit être analysé.

1.4 Contenu et structure

Les anciennes directives pour le prélèvement d'échantillons de sols (OFEFP, FAC 1987) ont été révisées pour tenir compte des modifications apportées au droit de la protection des sols et de l'état de la technique. Les données éprouvées ont ainsi été conservées et complétées sur la base des expériences faites avec le *Réseau national d'observation des sols (NABO = Nationales Bodenbeobachtungsnetz)* et les différents réseaux cantonaux.

Au surplus, les normes ISO y relatives (*ISO 1995a–b; 1996a–b; 2002a–c*), certaines directives de pays tiers et la littérature scientifique ont été prises en compte. L'accent a été mis sur les exigences de qualité à respecter en matière de prélèvement et de préparation d'échantillons.

Le manuel est organisé de la manière suivante:

- Le *chapitre 2* en présente la structure et expose les principes du prélèvement d'échantillons de sols, ainsi que le système d'assurance de la qualité.
- Le *chapitre 3* montre comment planifier un prélèvement.
- Les *chapitres 4* et *5* précisent l'organisation des prélèvements dans des situations courantes, notamment pour les études à long terme et les études de référence (*chap. 4*, observation et surveillance à long terme) et pour la délimitation spatiale de sols pollués (*chap. 5*, manipulation de matériaux terreux et évaluation des risques correspondants).
- Le *chapitre 6* traite de l'exécution des prélèvements, et le *chapitre 7* de la préparation et de l'archivage des échantillons.
- Le *chapitre 8* commente les fiches de prélèvement et de préparation des échantillons figurant en *annexe 5*.

Figure 2 illustre la structure du présent manuel de manière schématique, avec les différentes étapes de travail et les chapitres correspondants. La manière dont les résultats seront mis en valeur et interprétés est fixée dès l'organisation des prélèvements.

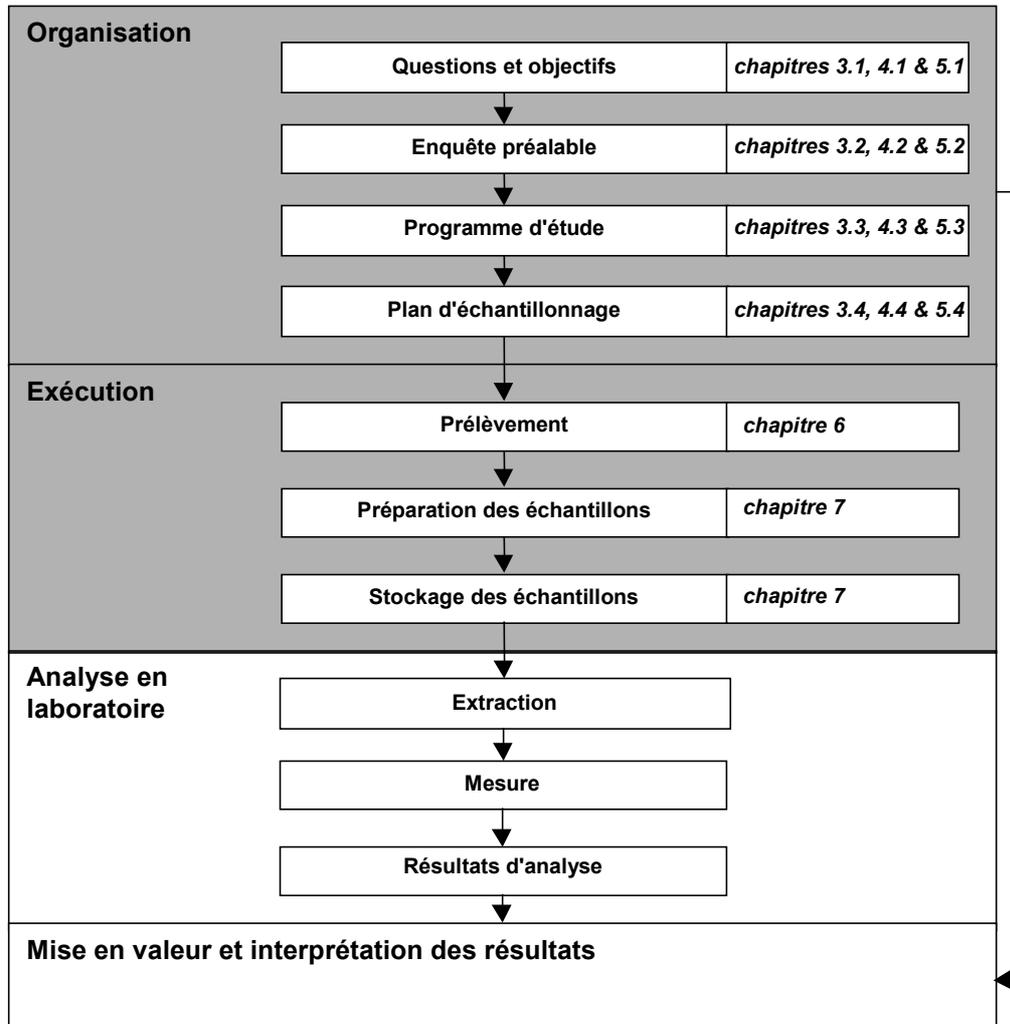


Figure 2: Enchaînement des opérations de prélèvement et de préparation des échantillons

(Le champ d'application du manuel correspond à l'arrière-plan en gris)

2 Principes et garantie de qualité

2.1 Variabilité spatiale et hétérogénéité, sources d'incertitude

L'échantillonnage sert à comprendre et à décrire la répartition effective des polluants dans les sols au moyen de valeurs statistiques (p. ex. moyenne, dispersion absolue), de la manière la plus sûre possible, tout en tenant compte des questions posées et des objectifs fixés. La variabilité spatiale, et donc l'hétérogénéité des paramètres analysés de la zone d'étude, joue un rôle central en la circonstance. Elle se retrouve à différents niveaux (hétérogénéité d'un échantillon, d'une placette de prélèvement, d'une zone d'études), et joue un rôle plus ou moins important suivant les cas.

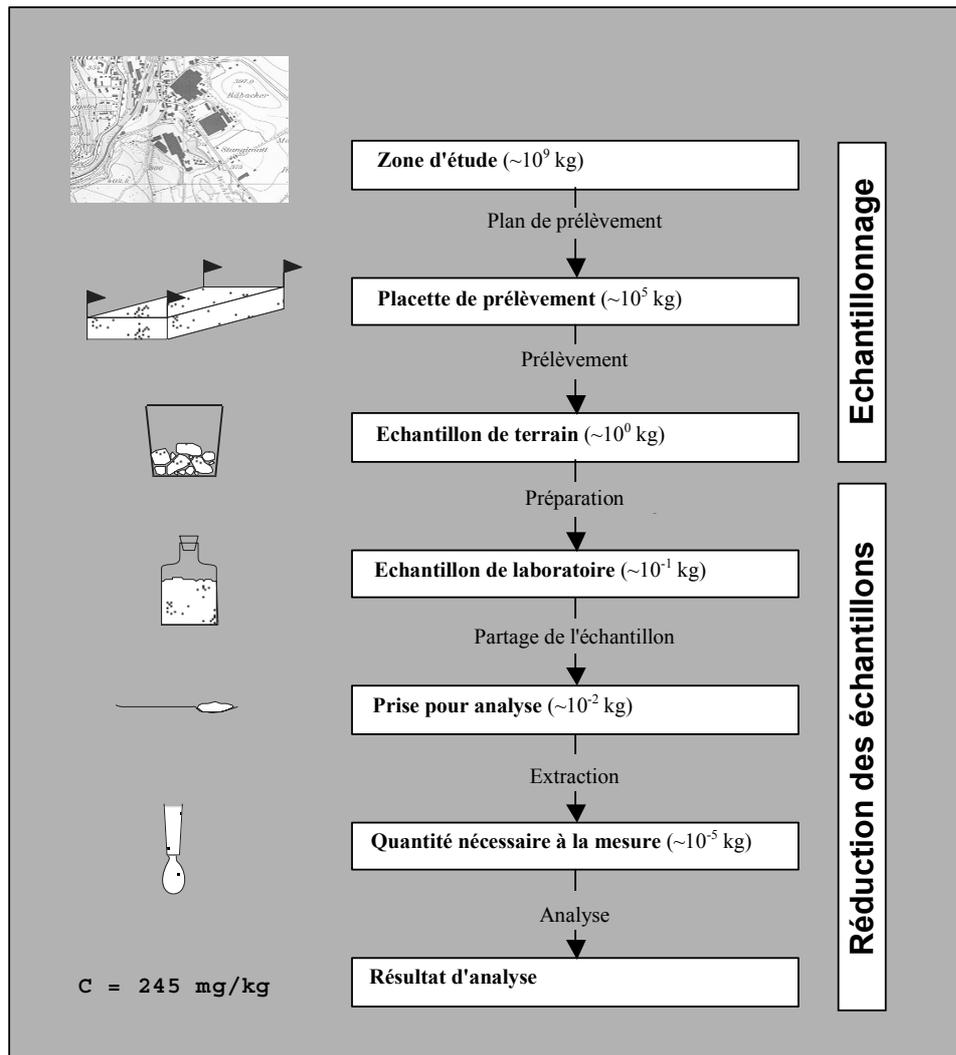


Figure 3: Stratégie d'échantillonnage et de réduction des échantillons

Les méthodes d'échantillonnage et de réduction des échantillons comprennent les étapes représentées en *figure 3*; elles permettent d'obtenir une image de la pollution des sols proche de la réalité. La première tient compte de l'hétérogénéité au niveau de la région d'étude et la deuxième à celui de l'échantillon et de ses parties.

Chacune des étapes évoquées en *figure 3* conduit forcément à des erreurs, sources d'incertitude. Un résultat d'analyse (valeur mesurée) se décompose ainsi toujours de la manière suivante:

$$\boxed{\text{Résultat d'analyse}} = \boxed{\text{Valeur exacte}} + \boxed{\text{Somme des erreurs commises lors de l'échantillonnage et de la réduction des échantillons}} + \boxed{\text{Erreurs de mesure}}$$

Les erreurs commises lors de l'échantillonnage et de la réduction des échantillons ne peuvent être quantifiées que de manière approximative, car les sources d'incertitude sont nombreuses. En outre, une erreur ne peut naturellement être réduite en deçà d'une certaine limite, faute de pouvoir disposer d'échantillons absolument représentatifs.

La valeur exacte ne peut qu'être approchée et n'est donc en fin de compte jamais accessible. Pour obtenir la meilleure évaluation possible, il faut exécuter les différentes étapes d'échantillonnage et de la réduction des échantillons, de telle manière que les portions successives de l'échantillon soient autant que possible représentatives les unes des autres et que les erreurs soient ainsi réduites au minimum.

Deux types d'incertitudes affectent les méthodes d'échantillonnage et de la réduction des échantillons (Gy 1991), soit:

- *erreur primaire d'échantillonnage, c'est-à-dire différence entre la valeur exacte inconnue, caractéristique de la zone d'étude, et celle de l'échantillon de terrain ;*
- *erreur de la réduction des échantillons, c'est-à-dire différence entre la valeur exacte inconnue de l'échantillon de terrain et celle de ses fractions successives.*

Toutes les incertitudes sont dues au fait que les méthodes d'échantillonnage et de la réduction des échantillons ne tiennent pas compte de manière appropriée de la variabilité des grandeurs à analyser. L'erreur primaire d'échantillonnage est ainsi liée à l'hétérogénéité de la zone d'étude (hétérogénéité de terrain), tandis que l'erreur de la réduction des échantillons reflète l'hétérogénéité de l'échantillon.

Des systèmes d'assurance de la qualité et des systèmes de contrôle reconnus sont devenus courants dans le domaine analytique. De tels moyens ne s'appliquent pas sans réserve au prélèvement d'échantillons, car l'hétérogénéité de terrain ne peut pas être calibrée sur une surface de référence quasi-homogène, comme c'est le cas en laboratoire avec du matériel de référence certifié. Une bonne stratégie de réduction des erreurs passe ici par une solide organisation des prélèvements (*☞ chap. 3*), par une exécution conforme aux règles de l'art (*☞ chap. 6*) et par une préparation idoine des échantillons (*☞ chap. 7*). Cependant, les mesures à prendre dans ce cadre devraient être telles que leurs avantages justifient la dépense.

Les publications spécialisées, qui visent à quantifier les erreurs ou incertitudes tout au long de la chaîne de mesure, des prélèvements aux analyses en passant par la préparation, sont rares et lacunaires (p. ex., *Desaules et Dahinden 1994, Huesemann 1994, Thompson et Ramsey 1995, Ramsey 1997, Squire et al. 2000, Wagner et al. 2001*). Les incertitudes peuvent varier fortement suivant les polluants, les concentrations et les régions, de sorte qu'il n'apparaît pas judicieux, dans l'état actuel des connaissances, de procéder à des généralisations sur le plan quantitatif. La méthode qui consiste à établir des budgets d'erreurs (*EURACHEM/CITAC Guide 2000*) permet d'évaluer l'importance des diverses sources d'incertitudes et contribue donc à les réduire en proportion.

Autres publications utiles

- EURACHEM/CITAC Guide, 2000, Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, Laboratory of the Government Chemist, London. 120 p., second edition.
- Gy P.M., 1991, Sampling: The foundation-block of analysis, *Mikrochimica Acta*, 2, 457–466.
- Huesemann M.H., 1994, Guidelines for the development of effective statistical soil sampling strategies for environmental applications, *in*: Calabrese E.J. und P.T. Kostecki (ed.), *Hydrocarbon Contaminated Soils and Groundwater*, 4, Association for the Environmental Health of Soils, Massachusetts, 47–96.
- Keith L.H (ed.), 1988, *Principles of Environmental Sampling*, American Chem. Society, 458 p., Washington DC.
- Rubio R., Vidal M., 1995, Quality assurance of sampling and sample pretreatment for trace metal determination in soils, *in*: Quevauviller P. (Ed.), *Quality Assurance in Environmental Monitoring: Sampling and Sample Pretreatment*, 7, 157–178, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.
- Thompson M., Ramsey M.H., 1995, Quality Concepts and Practices Applied to Sampling – An Exploratory Study, *Analyst*, 120, 261–270.

2.2 Qualité des prélèvements

2.2.1 Critères de qualité

Ce manuel vise à organiser et à exécuter les prélèvements et la préparation des échantillons dans les règles de l'art. A cet effet, ces opérations doivent tenir compte d'une série de critères parfois contradictoires:

Validité

- Correspondance entre le plan d'échantillonnage et la réalité dans la zone d'étude ;
- Résolution spatiale et nombre d'échantillons récoltés;
- Qualité du rapport entre les grandeurs analysées, les questions posées et les objectifs fixés.

Fiabilité

- Qualité de la définition et de l'évaluation des incertitudes;
- Adéquation du plan de prélèvement aux questions posées.

Efficacité économique

- Rapport qualité/coût, pour un traitement efficace des questions posées.

Chaque critère fait l'objet d'une évaluation sur la base des connaissances techniques et de l'expérience, en tenant compte des questions posées et des objectifs fixés.

2.2.2 Système d'assurance de la qualité

Au contraire de ce qui se passe en laboratoire, il n'est pas possible de standardiser l'organisation et l'exécution d'un prélèvement d'échantillon, car les conditions locales et les questions à résoudre sont beaucoup trop variées. L'Organisation internationale de normalisation (*ISO 2002c*) recommande d'adopter un système d'assurance de la qualité inspiré des principes de la norme ISO 9000 (*SNV 1999*). Des mesures s'imposent donc pour atteindre un niveau de qualité suffisant. Pour le prélèvement et la préparation d'échantillons, les stratégies visant à réduire les erreurs d'organisation et d'exécution doivent être reproductibles (ISO 9000). Il est ainsi possible de vérifier, après coup, si la procédure suivie a bien été conforme aux exigences de ce manuel et, de ce fait, si elle satisfait aux critères de qualité nécessaires.

L'élément central du système d'assurance de la qualité correspond à la liste des travaux réalisés suivant les différentes étapes de la *figure 2*, tout spécialement à l'établissement du plan d'échantillonnage (*☞ chap. 3.4*). Les fiches proposées (*☞ ann. 5*) peuvent servir de rapports d'exécution. Les travaux des autres étapes sont consignés sans forme particulière.

Les principaux moyens permettant de garantir la qualité sont sinon:

- une main-d'œuvre qualifiée;
- une organisation du travail fixée par écrit;
- l'utilisation de matériel, d'installations et de locaux appropriés;
- une accréditation et la participation à des analyses comparatives interlaboratoires (travaux de laboratoire).

La check-list "*Qualité*" (*☞ ann. 1*) sert d'instrument de contrôle pour le système d'assurance de la qualité. Elle pose des questions à chaque étape des travaux et permet ainsi d'exercer un contrôle autonome.

Autres publications utiles

Nothbaum N. et al, 1994, Probenplanung und Datenanalyse bei kontaminierten Böden, 164 p., Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Smith F. et al, 1988, Evaluating and presenting quality assurance sampling data, *in*: Keith L.H. (Ed.), Principles of Environmental Sampling, 10, American Chem. Society, 157–168.

SNV, 1999, Entwurf SN EN ISO 9000, 1999, Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe, Zürich.

VEGAS, 1999a, Einführung in die Probenahme bei Fragen des Bodenschutzes (Lehrgang V für Probennehmer), Analytische Qualitätssicherung Baden-Württemberg, VEGAS Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung, Landesanstalt für Umweltschutz, Stuttgart und Karlsruhe.

VEGAS, 1999b, Probenahme von Böden bei Altlasten (Lehrgang IV für Probennehmer), Analytische Qualitätssicherung Baden-Württemberg, VEGAS Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung, Landesanstalt für Umweltschutz, Stuttgart und Karlsruhe.

Scherrer B., Biostatistique, ISBN 2-89105-093-2, éd. Gaëtan Morin, Québec, 850 p. (1998).

3 Principes de l'échantillonnage

3.1 Questions et objectifs

Pour commencer, il faut dresser une liste précise et claire des questions à résoudre et des objectifs à atteindre, de manière à pouvoir organiser et exécuter les travaux nécessaires, efficacement et dans les règles de l'art. Les documents établis à cette occasion permettent au surplus d'examiner si les résultats d'une étude pourront servir à d'autres applications. Les *chapitres 4.1 et 5.1* fournissent des exemples de questions à résoudre et d'objectifs à atteindre.

3.2 Enquête préalable

3.2.1 Moyens

L'enquête préalable permet de récolter des informations essentielles au sujet des problèmes posés et des objectifs. Elle conduit à délimiter la zone d'étude, à reconstituer l'histoire de son utilisation et celle de son exposition aux pollutions (cf. *ann. 2*), à reconnaître les lieux (conditions locales) et à fixer les mesures à prendre pour garantir la qualité des prélèvements. Elle comprend des recherches de documents, des visites de terrain et des consultations. Les *chapitres 4.2 et 5.2* fournissent des indications utiles à ce sujet, en se référant à des études types.

3.2.2 Hypothèses de travail

L'histoire de l'utilisation des sols et celle des émissions auxquelles ils ont pu être exposés conduisent à envisager diverses atteintes possibles, en s'appuyant sur les critères du *tableau 2*. Les hypothèses faites servent à l'élaboration du plan d'échantillonnage. Le cas échéant, les résultats obtenus permettent de contrôler et d'adapter les questions posées et les objectifs visés (processus itératif).

Tableau 2: Questions utiles pour formuler les hypothèses de travail

Critères	Questions à examiner
Polluants et voies de pénétration	- Des polluants d'origine géogène pourraient ils être présents dans le sol? - Quels polluants anthropogènes ont atteint le sol? - Comment ces polluants sont-ils parvenus dans le sol? - Quelles quantités de ces polluants sont en jeu et qui sont les pollueurs par comportement?
Etagement horizontal et vertical	- Quelle surface est affectée par la pollution? - Jusqu'à quelle profondeur la pollution s'étend-elle?
Délimitation horizontale et verticale	- Compte tenu du mode de pénétration considéré, la pollution peut-elle être délimitée nettement, à l'horizontale et à la verticale, ou décroît-elle de manière graduelle?
Modèle de pollution	- Où les polluants se sont-ils déposés dans les sols? - Quelles surfaces partielles ou quels horizons des sols sont les plus touchés? - La distribution des polluants est-elle plutôt hétérogène ou homogène?

Les risques peuvent être évalués sur la base des hypothèses les plus pertinentes. Ils concernent:

- les atteintes à la fertilité des sols, et
- l'exposition de l'homme, des animaux et des plantes.

3.3 Programme d'étude

Une fois l'enquête préalable achevée et les informations nécessaires récoltées, il convient de préciser le programme des études à réaliser (cf. *tab. 3*), en tenant compte des objectifs visés.

Tableau 3: Points à prendre en compte pour établir le programme d'étude

Zone d'étude	Délimitation de la zone d'étude
Echantillonnage	<ul style="list-style-type: none"> - Limite de résolution nécessaire (nombre de placettes de prélèvement) - Taille appropriée des surfaces partielles pour la détermination des teneurs en polluants (optimisation de l'étude et de l'élimination des surplus, par exemple des échantillons composés) - Précision nécessaire des résultats (nombre d'échantillons à double) - Précision nécessaire de la localisation, pour assurer la reproductibilité des prélèvements
Etudes complémentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Description de profils: nature et nombre, paramètres à relever - Sondages à la tarière: nature et nombre - Propriétés caractéristiques des sols: nature et nombre d'échantillons (profondeurs de prélèvement) - Relevé de l'occupation actuelle des sols
Analyses	<ul style="list-style-type: none"> - Polluants à rechercher, avec indication des méthodes d'analyse - Propriétés caractéristiques des sols, avec indication des méthodes d'analyse
Mise en valeur et interprétation	<ul style="list-style-type: none"> - Normes d'évaluation (p. ex. valeurs réglementaires OSol) - Valeurs statistiques nécessaires (moyennes et extrêmes) - Données annexes (propriétés caractéristiques des sols, particularités de la placette) - Méthodes choisies pour l'interprétation (p. ex. évaluation qualitative, géostatistique, tests d'hypothèses et de signification)
Travail par étapes	<ul style="list-style-type: none"> - Méthode progressive pour les études complexes

3.4 Plan d'échantillonnage

3.4.1 Remarques préliminaires

Le plan d'échantillonnage est établi à partir du programme d'étude (*fig. 4*). Il s'agit d'arrêter d'abord le mode d'exécution, puis de faire coïncider le mieux possible les aspects pratiques (*chap. 6*) avec les exigences théoriques posées au prélèvement d'échantillons (*chap. 2*). Le plan d'échantillonnage est au cœur du système d'assurance de la qualité. Il doit donc être fixé par écrit.

3.4.2 Dispositif de prélèvement

Par dispositif, il faut comprendre *la répartition spatiale* des points de prélèvement dans la zone d'étude considérée. Il va dépendre des questions posées et des objectifs fixés, des hypothèses faites au sujet des pollutions et du pouvoir de résolution nécessaire. Un dispositif peut être considéré comme approprié, lorsque les placettes choisies représentent bien la zone d'étude et que leur nombre reste aussi faible que possible. Un modèle de prélèvement non représentatif fournit des résultats équivoques et conduit à des interprétations incorrectes; c'est la principale source d'erreur dans l'étude des polluants du sol.

Plan d'échantillonnage	
Dispositif de prélèvement	chiffre 3.4.2
Type d'échantillons	chiffre 3.4.3
Constitution d'échantillons composés	chiffre 3.4.4
Profondeur de prélèvement	chiffre 3.4.5
Quantités à prélever	chiffre 3.4.6
Description du site	chiffre 3.4.7

Figure 4: Eléments du plan d'échantillonnage

Dans un premier temps, la position des placettes de prélèvement doit être reportée sur une carte à une échelle appropriée, pour garantir une exécution systématique des travaux. Des solutions de remplacement doivent être prêtes à l'avance, pour le cas où un prélèvement ne pourrait pas avoir lieu (p. ex. à cause de difficultés imprévues rencontrées sur le terrain). Cette précaution permet de prévenir un choix arbitraire et les erreurs y relatives. Le choix d'un nouveau point de prélèvement va dépendre des questions posées et des objectifs fixés, des hypothèses faites au sujet de la pollution et du dispositif retenu. Un schéma de décisions devrait être utilisé dans les cas complexes. Le *tableau 4* distingue les principaux types de dispositifs utilisés pour le prélèvement de sols.

Trois types de répartition pour toute la zone d'étude sont définis ci-après:

- *Répartition aléatoire*

La répartition aléatoire est la seule méthode objective, mais elle suppose un nombre d'échantillons élevé. Elle garantit une probabilité de prélèvement égale en tout point, de sorte que les erreurs systématiques peuvent pratiquement être exclues. Effectué sans plan, l'échantillonnage au hasard ne fournit pas à une répartition aléatoire, car il ne permet pas d'exclure des influences extérieures (p. ex. prise en compte de connaissances techniques). Des facteurs comme le relief, la végétation ou d'autres obstacles risquent également d'influencer le choix des placettes de prélèvement. L'exécution est très coûteuse (repérage, accessibilité, reproductibilité), tandis que la répartition des points n'est pas proportionnelle aux surfaces.

- *Répartition systématique*

La répartition systématique repose sur l'utilisation d'un dispositif régulier. Celle à maille carrée est la plus couramment utilisée. La maille triangulaire offre la meilleure couverture, mais est plus difficile à implanter. Des erreurs systématiques ne sont pas exclues, car le choix du maillage est lié à l'état des connaissances. Pour un pouvoir de résolution identique, le nombre d'échantillons nécessaires est plus faible que dans le cas d'une répartition aléatoire. Le fait que la répartition des points soit proportionnelle aux surfaces doit être considéré comme un avantage.

- *Répartition ciblée*

Les hypothèses faites au sujet de l'origine des polluants dans les sols considérés peuvent conduire à choisir une répartition ciblée. Le choix des points de prélèvement se fait alors sur la base des connaissances techniques et d'analyses de plausibilité. Les prélèvements ciblés sont très sensibles aux erreurs systématiques, car d'autres causes de pollution, inconnues, peuvent jouer un rôle. En comparaison, cette méthode requiert le plus petit nombre d'échantillons. Le risque de commettre une erreur, par suite d'une évaluation fautive ou incomplète, est particulièrement grand. D'où l'importance d'effectuer une enquête préalable prudente et sérieuse (☞ chap. 3.2).

Pour les trois types de base, soit *aléatoire*, *systématique* et *ciblée*, il existe une relation générale entre le nombre d'échantillons nécessaire et le risque d'erreur. La répartition aléatoire exige le plus grand nombre d'échantillons et donne l'erreur la plus faible. La répartition ciblée exige peu d'échantillons, mais présente un risque d'erreur important, si les hypothèses faites au sujet de la pollution ne se vérifient pas. La répartition systématique occupe une position intermédiaire (Keith 1990).

Dispositifs avec sous-secteurs:

- *Dispositif stratifié*

La zone d'étude est partagée en secteurs homogènes, comprenant un nombre d'échantillons proportionnel à la surface de ceux-ci. Les points de prélèvement y sont distribués de manière aléatoire, systématique ou ciblée.

- *Dispositif systématique renforcé*

Les surfaces à échantillonner sont réparties sur l'ensemble de la zone d'étude et chaque surface fait l'objet de plusieurs prélèvements (deuxième degré). Il est ainsi possible d'étudier l'hétérogénéité à différentes échelles (☞ chap. 2.2). Ce dispositif se prête bien à l'interpolation des grandeurs mesurées au moyen de méthodes géostatistiques (OFEFP 1994).

Autres publications utiles

Dalton R. et al, 1975, Sampling techniques in geography, 95 p., Georg Philip and Son Ltd, London.

Isaaks E.H., Srivastava R.M., 1989, An introduction to applied geostatistics, 561 p., Oxford University Press.

ISO, 1995a, Soil quality – Sampling, Part 1: Guidance on the design of sampling programmes (ISO/DIS 10381-1), 44 p., Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin.

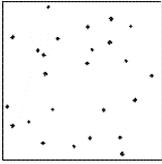
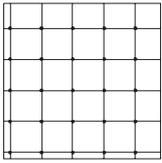
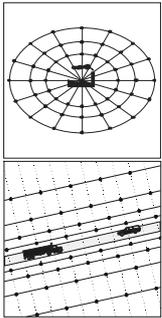
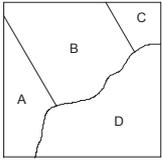
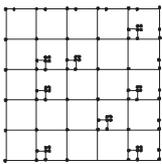
Keith L.H., 1990, Environmental sampling: a summary, *Envir.Sci.Tech.* 24, 610–617.

OFEFP, 1994, Regional soil contamination surveying – A: technical note, B: case study, Environmental Documentation Nr. 25 – Soil, 70 p., Bern.

Webster R., Oliver M., 2001, Geostatistics for Environmental Scientists, 271 p., John Wiley & Sons, New York.

Woede G., 1999, Probenahmeraster für Bodenuntersuchungen, *Bodenschutz*, 4, 147–151.

Tableau 4: Dispositif de prélèvement pour l'étude des polluants du sol

Dispositif	Exécution	Avantages	Inconvénients
Répartition aléatoire 	Répartition des points de prélèvement au moyen de chapitres tirés au sort, à l'exclusion de toute autre connaissance technique	<ul style="list-style-type: none"> - Seule méthode objective - Probabilité de prélèvement égale en tout point - Erreur systématique faible 	<ul style="list-style-type: none"> - Grand nombre d'échantillons nécessaire - Exécution coûteuse - Répartition non proportionnelle aux surfaces
Répartition systématique 	Répartition des points de prélèvement suivant un dispositif régulier: <ul style="list-style-type: none"> - maille carrée - maille rectangulaire - maille triangulaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Peu coûteux - Nombre d'échantillons limité - Meilleure couverture par grille à maille triangulaire - Répartition uniforme des points de prélèvement - Répartition proportionnelle aux surfaces 	<ul style="list-style-type: none"> - Une grille de taille inappropriée peut conduire à des erreurs systématiques - Le réseau à maille triangulaire est coûteux
Répartition ciblée 	Répartition des points de prélèvement sur la base des connaissances techniques et d'une analyse de plausibilité (hypothèses de travail): <ul style="list-style-type: none"> - source ponctuelle: grille polaire - source linéaire: transect - autres sources selon hypothèses de travail - densification des points de prélèvement près de la source de pollution 	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre d'échantillons le plus faible - Prise en compte des hypothèses faites au sujet de la pollution 	<ul style="list-style-type: none"> - Très grande sensibilité aux erreurs systématiques, au cas où les hypothèses faites au sujet de la pollution ne se vérifieraient pas - Suppose une enquête préalable poussée
Dispositif stratifié (ou dirigé) 	Subdivision en surfaces partielles homogènes, répartition du nombre des points de prélèvement proportionnellement aux surfaces considérées (répartition aléatoire, systématique ou ciblée dans chaque surface partielle)	Prise en compte des hypothèses faites au sujet de la pollution	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilité aux erreurs systématiques, au cas où les hypothèses faites au sujet de la pollution ne se vérifieraient pas - Suppose une enquête préalable poussée
Dispositif systématique renforcé 	Répartition systématique des points de prélèvement, avec concentration locale suivant un schéma prédéterminé (aléatoire ou systématique)	<ul style="list-style-type: none"> - Hétérogénéité reconnue à plusieurs niveaux spatiaux - Bien adapté à une mise en valeur géostatistique (avec un grand nombre d'échantillons) 	<ul style="list-style-type: none"> - Grand nombre d'échantillons nécessaire - Exécution coûteuse

Sources: Borgman et Quimby (1988), Dalton et al. (1975), Harvey (1973), ISO (1995a), Keith (1990), Lepretre et Martin (1994), Nothbaum et al. (1994), Rubio et Vidal (1995), Woede (1999).

3.4.3 Type d'échantillons

Echantillons simples

Les échantillons simples correspondent à une seule prise de sol, perturbée ou non.

Dans les échantillons non perturbés, la structure naturelle est conservée. Ils servent à déterminer différentes propriétés caractéristiques des sols, comme la densité réelle, la perméabilité et la porosité.

Dans les échantillons perturbés, la structure est détruite. Ils sont utilisés pour étudier les propriétés chimiques des sols, comme le pH, les teneurs en nutriments et en polluants.

Les échantillons simples correspondent exclusivement au point de prélèvement. A cause de l'hétérogénéité des sols, ils ne sont en règle générale pas représentatifs d'une grande surface (☞ chap. 2.2).

Echantillons composés

Plusieurs échantillons simples sont regroupés pour former un échantillon composé (perturbé), représentatif d'une surface déterminée (placette de prélèvement). Il est alors admis que la teneur en polluants de l'échantillon composé correspond à peu près à la moyenne de celles des échantillons simples. L'hétérogénéité est de la sorte largement compensée lors du prélèvement déjà (Aichberger et al. 1985, Federer et al. 1989). La valeur et la variabilité des paramètres analysés sur la surface considérée sont ici déterminants, ainsi que le nombre et la répartition des échantillons simples prélevés (☞ chap. 3.4.3).

En pratique, une distinction est faite au niveau de l'échantillonnage entre la couche supérieure et le sous-sol. Au sens du présent manuel, la première correspond à l'horizon superficiel, riche en humus (en général 0–20 cm; horizon A); le second comprend le reste de la zone des racines (horizon B).

Trois types d'échantillons sont définis ci-après:

- *Echantillons d'une placette ou d'un transect*

Les échantillons d'une *placette* sont des échantillons composés de la couche supérieure du sol, formés par le mélange d'un certain nombre d'échantillons simples prélevés sur une surface donnée, suivant une certaine répartition (☞ chap. 3.4.2).

Les échantillons d'un *transect* sont des échantillons composés d'échantillons simples de la couche supérieure du sol prélevés sur une ligne.

- *Echantillons par sondage et en fosse*

Les échantillons par *sondage* sont des échantillons composés d'une carotte du sous-sol prélevée par une sonde depuis la surface (échantillons simples). Suivant les hypothèses faites au sujet de la pollution, ils peuvent être prélevés sur une surface ou sur une ligne.

Les échantillons en *fosse* sont des échantillons composés recueillis sur les parois de fosses pédologiques.

- *Echantillons volumiques*

Les échantillons *volumiques* sont des échantillons simples ou composés de volume connu. Ils servent à déterminer la densité apparente du sol. Ils peuvent être modifiés ou non et sont prélevés avec des instruments adéquats (☞ chap. 6.7 et 6.8).

Des échantillons volumiques doivent être prélevés lorsque le sol renferme plus de 15 % d'humus, car les valeurs indicatives, les seuils d'investigation et les valeurs d'assainisse-

ment s'expriment alors par rapport au volume, soit en mg/dm^3 (annexes 1 et 2 OSol). En règle générale, des échantillons volumiques sont prélevés en plus des autres échantillons composés et permettent de convertir les résultats pondéraux d'analyses en résultats volumiques (☞ *chap. 7.1*). Par souci de représentativité, il convient de prélever à chaque fois au moins trois échantillons volumiques.

3.4.4 Constitution d'échantillons composés

La surface de la placette de prélèvement pour échantillons composés est définie lors de la définition des objectifs de l'étude (☞ *chap. 3.3*). Il faut fixer le nombre et la répartition des échantillons simples qui constituent l'échantillon composé. La variabilité de paramètres à analyser au niveau de la surface élémentaire considérée est le facteur principal à prendre en compte. Les principes suivants s'appliquent:

- L'augmentation du nombre d'échantillons rend les résultats plus robustes et améliore donc leur reproductibilité.
- Plus le paramètre est hétérogène et plus les échantillons simples doivent être répartis de manière proportionnelle aux surfaces.
- L'augmentation du nombre d'échantillons simples ne permet d'approcher l'hétérogénéité d'un paramètre d'un sol que jusqu'à un certain point (*Aichberger et al. 1985*). Pour cette raison, la placette de prélèvement auquel un échantillon composé se rapporte devrait être aussi homogène que possible.

La procédure à suivre pour constituer un échantillon composé ne peut pas être définie par avance dans tous les cas; elle doit faire l'objet d'une analyse de plausibilité, tenant compte des hypothèses faites au sujet de la pollution (☞ *chap. 3.2.2*).

Constitution d'échantillons représentatifs d'une surface

Le prélèvement d'échantillons représentatifs d'une surface s'impose lorsque les hypothèses de travail montrent que la pollution ne présente pas de gradient horizontal significatif (p. ex. surfaces agricoles). Le *tableau 5* présente les dispositifs de prélèvement correspondant à trois types de répartition. Il faut compter 16–25 échantillons simples pour 100 m^2 (*Federer et al. 1989*). Pour de grandes surfaces et des pollutions multiples, il convient d'utiliser la répartition stratifiée (☞ *chap. 3.4.2*).

Constitution d'échantillons représentatifs d'un transect

Des échantillons représentatifs d'un transect doivent être prélevés lorsque les hypothèses de travail (☞ *chap. 3.2.2*) indiquent un fort gradient de pollution (p. ex. le long d'une route). Le transect de prélèvement est choisi perpendiculaire au gradient attendu, avec des échantillons simples régulièrement espacés. La longueur et la forme d'un transect dépendent des hypothèses faites au sujet de la pollution.

Constitution d'échantillons en fosse

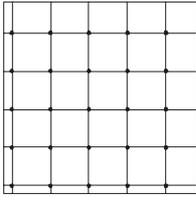
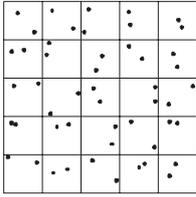
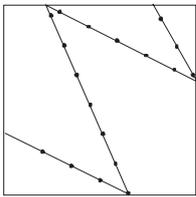
Les échantillons en fosse sont constitués par mélange d'échantillons simples prélevés sur toute la largeur d'une paroi de fosse pédologique et sur toute la profondeur concernée. La largeur de la fosse ne devrait pas être inférieure à 1 m, pour compenser, partiellement au moins, une éventuelle hétérogénéité du sol.

Constitution d'échantillons en carotte (sondage)

Des échantillons simples sont prélevés dans plusieurs sondages, à la profondeur voulue, et mélangés pour former un échantillon composé. Les sondages sont répartis, en utilisant les mêmes critères que pour la constitution d'échantillons représentatifs d'une surface ou d'une ligne. Ils sont réalisés à la main ou à la machine (p.ex. forage carotté battu).

L'exécution de sondages s'accompagne d'un risque d'écrasement et de mélange, ce qui complique la détermination de la profondeur et peut provoquer une contamination des échantillons au contact d'autres couches du sol (*Schulz et al. 1996*). Toutefois, les sondages se prêtent mieux que les fosses à l'étude du sous-sol sur de grandes surfaces et permettent ainsi de mieux compenser l'effet de la variabilité spatiale, en tenant compte des hypothèses faites au sujet de la pollution (l'effort et les impacts sont plus faibles).

Tableau 5: Dispositifs de prélèvement pour la constitution d'échantillons représentatifs d'une surface au moyen d'échantillons simples

Répartition	Exécution	Avantages	Inconvénients
systematique 	Répartition systématique d'un certain nombre d'échantillons simples sur la surface considérée (en général, maille carrée)	- Echantillonnage régulier de la surface	- Relativement coûteux - Prélèvement d'échantillons simples pas toujours possible aux nœuds du réseau
aléatoire stratifiée 	Subdivision de la surface de prélèvement (en général, 10 m x 10 m) en surfaces partielles (en général, 16–25), avec répartition ad hoc d'un certain nombre d'échantillons simples dans chaque surface partielle (en général 1–2)	- Echantillonnage régulier de toute la surface - Peu coûteux	- Le choix subjectif des prises ad hoc peut introduire une erreur systématique
diagonale 	Répartition systématique des échantillons sur une ou plusieurs diagonales, tracées de manière ciblée à travers la surface considérée (modèle en I, X ou W)	- Prise en compte d'une pollution en forme de bande - Très peu coûteux	- Echantillonnage irrégulier de la surface - Peut provoquer des erreurs systématiques en cas de pollution très hétérogène - Les modèles en I et en X sont sensibles à l'orientation des diagonales

Autres publications utiles

Garner F.C. et al 1988, Composite sampling for environmental monitoring, *in*: Keith L.H. (Ed.), Principles of Environmental Sampling, 25, American Chem. Society, 363–374.

Rohlf F.J. et al, 1996, Optimizing composite sampling protocols, *Envir.Sci.Techn.*, 30, 2899–2905.

3.4.5 Profondeur de prélèvement

Choix de la profondeur de prélèvement

La profondeur de prélèvement dépend des questions posées. Les analyses faites en application de l'OSol se rapportent à des immissions et servent à évaluer les atteintes portées aux sols. L'origine de l'axe des profondeurs correspond ainsi à la surface du terrain, feutrage ou litière comprise. Pour les recherches pédologiques, en revanche, le zéro coïncide avec le toit du sol minéral.

Echantillonnage de la couche supérieure du sol

L'OSol fixe les profondeurs de prélèvement pour l'évaluation des atteintes portées aux sols (cf. *tab. 8*). Elle autorise des exceptions dans les cas motivés, par exemple lorsque les profondeurs prescrites ne permettent pas de répondre correctement aux questions posées (☞ *chap. 5.4.4*).

Le fait de prélever des échantillons de sols avec le feutrage ou la litière peut influencer les résultats d'analyse, car – en sol forestier tout particulièrement – le gradient de pollution est très élevé dans la zone de transition entre la litière et le sol minéral (*Angehrn-Bettinazzi 1989*). La litière ne peut le plus souvent pas être séparée de son substratum de manière reproductible (*Federer 1982*). C'est la raison pour laquelle les prélèvements effectués pour les analyses de routine prescrites par l'OSol se font sans opérer de séparation. Le matériel organique grossier est éliminé lors du prélèvement au carottier manuel, puis lors de la préparation de l'échantillon (tamisage, ☞ *chap. 7.1*). Par expérience, les résultats d'analyse d'un même laboratoire sont tout à fait reproductibles (*OFEFP 1993, Desaulles et Dahinden 1994*) et utilisables pour les études à long terme et les études de référence (☞ *chap. 5*).

Lorsque l'étude de la teneur en polluants de la litière est au centre des préoccupations (avant tout en forêt), l'horizon supérieur du sol débarrassé de sa litière fraîche peut être prélevé d'un bloc ou par couches correspondant aux horizons organiques reconnus sur un profil. Les résultats sont moins facilement reproductibles, bien que la méthode se justifie au plan pédologique.

Le mode de prélèvement doit faire l'objet d'une description écrite (reproductibilité).

Echantillonnage du sous-sol

L'échantillonnage du sous-sol se fait dans des fosses ou dans des sondages, en tenant compte soit des horizons pédologiques, soit de profondeurs fixes. Il faut alors veiller à ce que l'épaisseur des couches prélevées ne soit pas inférieure à 5 cm (reproductibilité) et qu'elle ne dépasse pas 40 cm (représentativité). Le mode et la profondeur maximale de prélèvement sont fixés dans chaque cas en fonction des questions posées et des objectifs fixés (☞ *chap. 3.1*), ainsi que des hypothèses faites au sujet de la pollution (☞ *chap. 3.2.2*).

Un échantillonnage par horizon présente en général des avantages pour la résolution de problèmes pédologiques (p. ex. migration de polluants en profondeur). Pour déterminer la profondeur à laquelle une valeur administrative est dépassée, il faut préférer, suivant les hypothèses faites au sujet de la pollution, soit un échantillonnage à profondeur fixe (p. ex. pollution directe), soit un échantillonnage par horizons (p. ex. migration géochimique). Si les niveaux fixes de profondeur ne sont pas de taille trop faible, il est possible de combiner les deux modes de prélèvement en un.

3.4.6 Quantités à prélever

Les quantités nécessaires sont à chaque fois fixées avant prélèvement (☞ *chap. 6*). Elles doivent être suffisantes pour garantir la représentativité des résultats pour les teneurs en polluants d'un horizon donné. Elles dépendent en outre des besoins du laboratoire d'analyses, du nombre de répétitions prévues, ainsi que du nombre d'échantillons de réserve et des échantillons à archiver. Il faut également tenir compte du fait qu'une partie du matériel se perd lors de la préparation des échantillons (☞ *chap. 7.1*) et ne pas oublier que les éléments grossiers (partie >2 mm) sont enlevés par tamisage et qu'ils ne sont donc pas pris en compte à l'analyse. Les directives "*Prélèvement d'échantillons solides sur les sites pollués*" (OFEFP), fournissent les bases théoriques utiles pour calculer les quantités minimales à prélever.

Echantillons de réserve

Les échantillons de réserve sont entreposés durant une courte période (de quelques jours à quelques mois), pour répéter les mesures dans le cadre d'analyses de plausibilité des résultats. Ils sont conservés jusqu'au moment où les résultats des mesures sont confirmés.

Echantillons à archiver

Des échantillons sont conservés à long terme (dizaines d'années), pour de nouvelles analyses, des comparaisons ou des confirmations.

Autre publication utile

Bunge R., Bunge K., 1999, Probenahme auf Altlasten: Minimal notwendige Probenmasse, 3, Altlasten Spektrum 174–179.

3.4.7 Description du site

La description du site permet de rassembler toutes les informations utiles pour la mise en valeur et l'interprétation des résultats. Une partie des données est récoltée dans le cadre de l'enquête préalable (☞ *chap. 3.2*), le reste lors du prélèvement. Le plan d'échantillonnage est complété avec cette dernière partie. Les informations suivantes:

- rapports de propriété;
- croquis de situation;
- climat et pollution atmosphérique;
- relief;
- utilisation et couverture végétale;
- géologie et hydrologie;
- description du sol (profil pédologique, critères selon *Ann. 5–3*: fiche complémentaire "*Profil du sol*").

A côté des indications concernant le prélèvement, les fiches (☞ *Ann. 5*) comprennent également des éléments permettant de décrire la placette. Les explications correspondantes (☞ *chap. 8*) donnent une idée de l'importance et du degré de détail des informations à fournir dans ce cadre. Il faut alors relever à chaque fois l'ensemble minimal de données, valable pour toutes les études.

4 Etudes à long terme et études de référence

4.1 Questions et objectifs

4.1.1 Etudes à long terme

Les études à long terme servent d'abord à observer et à évaluer l'évolution de la charge du sol en polluants. Elles comprennent un échantillonnage initial et des campagnes de prélèvement ultérieures. L'OSol distingue entre l'observation par la Confédération (NABO; art. 3, al. 1, OSol; cf. *OFEFP 1993*) et la surveillance par les Cantons (KABO; art. 4, al. 1, OSol).

4.1.2 Etudes de référence

Les études de référence permettent de comparer les stations et ne se répètent généralement pas. Elles doivent être très complètes et s'apparentent de ce point de vue aux études à long terme.

4.2 Enquête préalable

Dans le cadre des études à long terme, une placette ne peut plus être déplacée après l'échantillonnage initial, de sorte que sa position doit être fixée sur la base d'une enquête préalable solide (*☞ chap. 3.2*). L'accent est alors mis sur la récolte des informations nécessaires au choix des points de prélèvement dans la zone d'étude. La répartition se fait en deux temps:

- a. **Répartition régionale:** les points de prélèvement sont distribués dans la zone d'étude en fonction des questions posées et des objectifs poursuivis, sans fixer leur position définitive. Le *tableau 6* fournit des critères utiles à ce sujet.
- b. **Implantation locale:** chaque point de prélèvement est fixé de manière précise à l'aide des critères du *tableau 7* et sur la base de visites de terrain.

4.3 Programme d'étude

Dans le cas d'études à long terme, il faut distinguer entre:

- les études nécessaires à l'échantillonnage initial et
- les études nécessaires aux échantillonnages ultérieurs.

La nature des informations à recueillir est fixée sur la base des questions posées et des objectifs poursuivis (*☞ chap. 3.3, tab. 3*). Il faut accorder une attention spéciale à la précision du repérage des placettes pour garantir une bonne reproductibilité de l'échantillonnage (*☞ chap. 6.10*). Par ailleurs, les quantités à prélever doivent être précisément fixées (*☞ chap. 3.4.6*).

Dans ce cadre, les échantillons archivés servent à:

- l'analyse ultérieure de nouveaux paramètres;
- l'étude comparative de méthodes analytiques (y compris la préparation des échantillons).

Les intervalles de temps à respecter entre le prélèvement initial et les échantillons ultérieurs, l'archivage des échantillons (*☞ chap. 7.2*) et le traitement des données doivent aussi être fixés à l'avance. Ces informations sont encore complétées s'il s'agit d'étudier des flux de substances (pour les surfaces agricoles: *☞ Ann. 4*).

Tableau 6: Critères à prendre en compte pour la répartition des points de prélèvement utiles aux études à long terme et aux études de référence

Critère	Motivation	Sources d'information
Répartition géographique	Répartition représentative, c'est-à-dire conforme aux questions posées, sur l'ensemble de la zone d'étude	Cartes topographiques nationales 1:25 000, 1:50 000
Occupation des sols	Prise en compte de divers types d'occupation des sols et du degré d'utilisation: - agriculture - forêt - espaces libres proches de l'état naturel - agglomération	- Cartes nationales - Photographies aériennes - Cartes d'aptitude des sols - Production écologique requise
Pédologie, géologie, hydrologie	- Prise en compte des différents types de sols représentés dans la région et de leurs caractéristiques pédologiques - Roches-mères - Conditions hydrologiques	- Cartes d'aptitude des sols - Cartes pédologiques - Banques de données pédologiques - Atlas géologique 1:25 000 - Carte géotechnique 1:200 000 - Surveillance continue des cours d'eau suisses (NADUF) - Réseau national d'observation de la qualité des eaux souterraines (NAQUA)
Climat et protection de l'air	Prise en compte des conditions climatiques et de la qualité de l'air	- Etudes et réseau d'observation de la qualité de l'air - Surveillance biologique de l'environnement (mousses, lichens, etc.) - Données climatiques
Polluant	- Identification des voies de migration des polluants - Formulation des hypothèses de travail - Prise en compte de divers niveaux de pollution	- Travaux de recherche (cantons, hautes écoles, instituts de recherche, organisations non gouvernementales) - Dépassement naturel de valeurs indicatives (<i>Ann. 3</i>) - Cadastre des sites pollués, des sources d'émissions - Polluants potentiels (<i>Ann. 2</i>)
Coordination	- Coordination avec les stations d'autres réseaux de mesure	- Réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL) - Réseau national de stations pluviométriques automatiques (ANETZ) - Réseaux cantonaux de mesure de la qualité de l'air

4.4 Plan d'échantillonnage

4.4.1 Plan d'échantillonnage pour le prélèvement initial et pour les études de référence

Dans le cadre de l'élaboration du plan d'échantillonnage (*Ann. 3.4*), les *tableaux 8 et 9* servent de base de décision pour les prélèvements à effectuer dans la couche supérieure et dans le sous-sol. Pour les études à long terme, il faut prendre garde que la normalisation de la procédure choisie pour assurer la reproductibilité et la comparabilité des mesures n'induit pas d'erreur systématique.

Tableau 7: Critères à prendre en compte pour l'implantation locale des points de prélèvement utiles aux études à long terme et aux études de référence

Critère	Motivation	Sources d'information
Sol	- Structure représentative, si possible homogène, du sol - Structure naturelle du sol (surtout pour les études à long terme)	Cartes pédologiques
Relief	Influence de l'érosion (zone d'ablation et d'accumulation)	- Cartes topographiques - Cartes pédologiques (division conforme à la classification des sols suisses)
Durabilité	Garantie pour les prélèvements futurs	Enquêtes
Repérage	Echantillonnages ultérieurs sur la même surface	- Registre foncier - Enquêtes - Points fixes (implantation)
Propriétaire Exploitant(e)	- Prise de contact - Information - Détermination de l'accessibilité et recherche des accords nécessaires	- Registre foncier - Enquêtes
Exploitation	Influence des apports de substances	Enquêtes

4.4.2 Plan d'échantillonnage pour les prélèvements ultérieurs

Pour les prélèvements ultérieurs, le plan d'échantillonnage est fixé en fonction des études à réaliser. Les travaux se déroulent comme lors du prélèvement initial, pour que les résultats soient comparables entre eux. La description d'un profil pédologique n'est en général plus nécessaire, sauf par exemple s'il s'agit de suivre la migration de polluants en profondeur. Dans ce cas, la fosse pédologique doit être creusée à un autre endroit, à moins qu'il ne soit possible de prélever des échantillons en sondage tant pour la première opération que pour les suivantes.

Lors des prélèvements ultérieurs, il faut en outre:

- contrôler le plan d'échantillonnage, en tenant compte des résultats des premières investigations;
- contrôler l'implantation (vérification du point de repère et des points fixes, remplacement éventuel; *☞ chap. 6.10*);
- relever les changements (utilisation, exploitation agricole, terrain, autres modifications importantes);
- relever les données concernant les flux de substances.

La fiche complémentaire "*Echantillonnage ultérieur*" et les commentaires y relatifs (*☞ chap. 8 et ann. 5*) sont également utiles pour confirmer le plan d'échantillonnage.

4.4.3 Constitution d'échantillons composés représentatifs de surface

Lors d'études à long terme, plusieurs échantillons composés sont prélevés sur une surface prédéterminée, pour garantir la représentativité des observations effectuées sur le site (dispersion liée au prélèvement et à l'analyse pour ladite surface).

La *Figure 5* illustre le dispositif de prélèvement choisi dans le cadre du Réseau national d'observation des sols - NABO (OFEFP 2000e). Une surface carrée est subdivisée en parties égales, de manière à constituer quatre échantillons composés à l'aide d'échantillons simples distribués sur toute la surface (*chap. 3.4.4*). Chaque surface élémentaire est ainsi prise en compte à l'aide d'un ou de plusieurs échantillons simples distribués de manière aléatoire (*chap. 3.4.2*). Quatre échantillons composés prélevés à la même date permettent dans le meilleur des cas – c'est-à-dire si les résultats ne se chevauchent pas – de mettre en évidence des changements de concentration au cours du temps avec une probabilité d'erreur $\alpha = 2.9 \%$ (OFEFP 2000e). Il est recommandé de travailler avec une surface de 10x10 m (méthode NABO). Le choix d'une surface plus grande (20x20 m) se justifie lorsque les prélèvements se font en forêt.

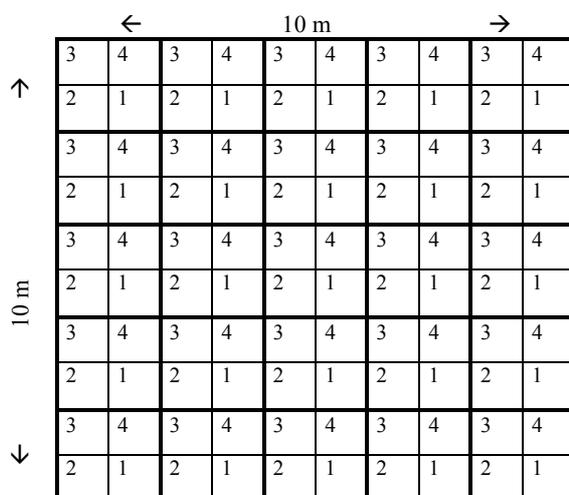


Figure 5: Dispositif de prélèvement pour les études à long terme

Autres publications utiles

- Barth N. et al, 2000, Boden-Dauerbeobachtung: Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen, *in*: Rosenkranz D., Bachmann G., König W., Einsele G., Bodenschutz, Kennzahl 9152, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Bayerische Staatsministerien für Landesentwicklung und Umweltfragen und für Ernährung Landwirtschaft und Forsten, 1990, Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern: Standortauswahl, Einrichtung, Probenahme, Analytik, 44 p., München.
- Blum W.E.H. et al, 1996, Bodendauerbeobachtung, Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft, Umweltbundesamt und Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, 101 p., Wien.
- OFEFP, 1993, NABO – Réseau national d'observation des sols – Période d'observation 1985–1991, Cahier de l'environnement n°. 200 – Sol, 134 p., Berne.
- OFEFP, 2000e, NABO – Réseau national d'observation des sols – Variations des teneurs en polluants après 5 et 10 ans de suivi, Cahier de l'environnement n°. 200 – Sol, 129 p., Berne.

Tableau 8: Aide à la décision pour l'établissement du plan d'échantillonnage dans la couche supérieure du sol

Élément du plan d'échantillonnage (☞ chap. 3.4)	Observation à long terme, études de référence	Surveillance à long terme
Dispositif de prélèvement	Répartition des points de prélèvement dans le cadre de l'enquête préalable (☞ chap 4.2): 1. Répartition régionale (surtout pour les observations à long terme) 2. Implantation locale	
Type d'échantillons	3–4 échantillons représentatifs de surface	3–4 échantillons représentatifs de surface ou de ligne, selon les hypothèses faites au sujet de la pollution
Constitution d'échantillons composés	Echantillons représentatifs de surfaces: répartition aléatoire stratifiée des échantillons simples (☞ chap. 4.4.3, fig. 5)	- Echantillons représentatifs de surface: répartition aléatoire stratifiée des échantillons simples - Echantillons représentatifs de ligne: répartition systématique sur la ligne (intervalles réguliers; ☞ chap. 3.4.4)
Profondeur de prélèvement	- Sols travaillés: 0–20 cm - Sols non travaillés: 0–20, suivant les besoins aussi 0–5 cm ou 0–10 cm - Forêt: couche d'humus (sans litière) et 0–20 cm, suivant les besoins aussi 0–5 ou 0–10 cm	Suivant les questions posées et les objectifs fixés, au moins 0–5 cm (reproductibilité)
Quantités à prélever	A fixer lors de la définition des études (☞ chap. 3.3 et 4.3)	
Description du site	Déterminer les données à relever sur la base du programme d'étude (☞ chap. 3.3 et 4.3). Moyen: fiches et explications (☞ chap. 8 et Ann. 5)	Comme pour l'observation à long terme, avec en plus une surveillance de l'occupation du sol

Tableau 9: Aide à la décision pour l'établissement du plan d'échantillonnage dans le sous-sol

Élément du plan d'échantillonnage (☞ chap. 3.4)	Observation à long terme, étude de référence	Surveillance à long terme
Dispositif de prélèvement	L'étude du sous-sol se fait en règle générale sur des fosses pédologiques, éloignées de 1–2 m des points de prélèvement.	
Type d'échantillons	<ul style="list-style-type: none"> - Au minimum un échantillon en fosse par horizon étudié - 3–5 échantillons non remaniés par horizon pour déterminer le poids volumique (☞ chap. 3.4.3) - Des échantillons d'autres types selon la définition des études (p. ex. pour l'étude des caractéristiques physiques des sols) 	<ul style="list-style-type: none"> - Au moins un échantillon en fosse par horizon/profondeur étudié - Des échantillons d'autres types selon la définition des études (p. ex. pour l'étude des caractéristiques physiques des sols)
Constitution d'échantillons composés	☞ chapitre 3.4.4	
Profondeur de prélèvement	Echantillonnage des horizons du sol (unités biogéochimiques)	Echantillonnage des horizons du sol ou échantillonnage systématique à des profondeurs fixes (p. ex. pour la surveillance de la migration en profondeur) suivant les questions posées et les objectifs poursuivis
Quantités à prélever	A fixer en fonction de la définition des études (☞ chap. 4.3 et 3.4.6)	
Description du site	Description d'un profil pédologique, détermination des données à relever suivant la nature des études (☞ chap. 3.3 et 4.3 ainsi que Commentaires aux fiches; ☞ chap. 8 et Ann. 5)	

5 Délimitation spatiale des sols pollués

5.1 Questions et objectifs

La délimitation spatiale des sols pollués répond aux questions types suivantes:

- Sur quelle surface l'une ou l'autre des valeurs fixées par l'OSol est-elle dépassée (délimitation en plan)?
- Jusqu'à quelle profondeur l'une ou l'autre des valeurs fixées pour l'OSol est-elle dépassée (délimitation à la verticale)?

Dans le domaine de la protection des sols, la délimitation spatiale vise l'un ou l'autre des objectifs suivants:

- Appréciation des possibilités de réutilisation de matériaux terreux (art. 7 OSol, Instructions matériaux terreux, *OFEFP 2001a*);
- Enquête sur l'origine du dépassement d'une valeur indicative (art. 8 OSol);
- Délimitation et étude de surfaces sur lesquelles un seuil d'investigation ou une valeur d'assainissement est dépassée (art. 9 et 10 OSol; "*Directives sur l'appréciation des risques*").

5.2 Enquête préalable

5.2.1 Marche à suivre

L'enquête préalable (*☞ chap. 3.2*) se déroule de la manière suivante (*ASTM 1996, 1997*):

Recherche de documents

- Exploitation de photographies aériennes, de données du registre foncier, de matériel cartographique actuel et ancien, de documents d'archives publiques et privées;
- consultation du cadastre des sites pollués (art. 5 OSites);
- exploitation de documents concernant les activités développées sur le site (plans de situation, programmes d'exploitation, bulletins de livraison, documents spécifiques à l'entreposage, etc.);
- exploitation de documents officiels (autorisations et décisions);
- exploitation de rapports portant sur des études de même nature.

Récolte d'informations sur le terrain

- Contrôle des informations récoltées;
- observations complémentaires;
- acquisition de données pour la préparation du plan d'échantillonnage.

Consultation

La consultation sert à vérifier et à compléter les informations récoltées. Elle s'adresse aux propriétaires, aux exploitants, aux témoins (voisins et employés actuels et anciens) et aux autorités (travaux publics, protection de l'environnement).

Les réponses aux interrogations sont consignées et analysées de manière critique (pertinence, fiabilité, caractère confidentiel).

5.2.2 Hypothèses de travail

Les hypothèses faites au sujet de la pollution sont formulées – en séparant les atteintes à la couche supérieure et au sous-sol – à partir des critères du *tableau 2* (☞ *chap. 3.2.2*). Le *tableau 11* en donne un résumé pour quelques hypothèses types. Si les polluants ont pu emprunter plusieurs voies de pénétration, les hypothèses correspondantes sont traitées séparément les unes des autres, car elles impliquent peut être l'élaboration de plans d'échantillonnage différents.

Un prélèvement correctement orienté oblige aussi à se préoccuper des risques possibles (☞ *chap. 3.2*), qui peuvent entre autres obliger à adapter les profondeurs du prélèvement (☞ *chap. 5.4.4*).

5.3 Programme d'étude

Le programme d'étude est établi sur la base des questions posées et des objectifs, ainsi que des hypothèses faites au sujet de la pollution (☞ *chap. 3.3*).

La délimitation spatiale de cette dernière oblige à se préoccuper des points suivants:

Méthodes d'analyse

Les méthodes de préparation, d'extraction et d'analyse sont choisies en fonction des questions posées et des objectifs (*tab. 10*).

Tableau 10: Méthodes d'analyse

Questions posées et objectifs	Méthode	Référence
Evaluation des atteintes portées aux sols selon OSol		
- Evaluation du dépassement de valeurs indicatives, de seuils d'investigation et de valeurs d'assainissement selon OSol - Appréciation des risques en cas de dépassement de seuils d'investigation - Utilisation de matériaux terreux	Teneurs totales et solubles selon OSol	Préparation des échantillons: <i>chapitre 7.1</i> Analyses: <i>tableau 1</i>
Elimination de matériaux terreux		
Elimination de matériaux terreux fortement pollués selon OTD	Tests de lixiviation, teneurs totales selon OTD	Méthodes d'analyse pour échantillons solides et aqueux provenant de sites pollués et de matériaux d'excavation (<i>OFEFP 2000b</i>)
Appréciation des besoins de surveillance et d'assainissement des sites pollués (<i>art. 8 OSites</i>)		
Protection des sols (<i>art. 12 OSites</i> , évaluation selon OSol)	Teneurs totales et solubles selon OSol	Préparation des échantillons: <i>chapitre 7.1</i> Analyses: <i>tableau 1</i>

Tableau 11: Aide à la décision pour l'établissement du plan d'échantillonnage

Hypothèses concernant la pollution de la couche supérieure du sol					
Cas	Exemple	Délimitation horizontale	Extension horizontale	Distribution des polluants	Voies de migration des polluants
A	-Parcelles agricoles -Parcelles viticoles	délimité	petite surface: 100–10 000 m ²	-régulière -faible hétérogénéité	apport direct d'une source principale, respectivement d'un seul pollueur
B	-Jardins familiaux -Surfaces de stockage, aires industrielles	délimité	petite surface: 100–10 000 m ²	-irrégulière -grande hétérogénéité	apport direct de plusieurs sources / pollueurs
C	-Accotements de routes -Mâts de lignes à haute tension -Ponts métalliques	non délimité	faibles distances: 10–100 m	dépendant de la distance	apport atmosphérique d'une source principale
D	-Station d'incinération des ordures ménagères -Usines métallurgiques	non délimité	grandes distances: 100–10 000 m	dépendant de la distance	apport atmosphérique d'une source principale
E	-Agglomération	non délimité	grandes distances: 100–10 000 m	diffuse	apport atmosphérique (nombreuses sources); apport de terres polluées

Hypothèses concernant la pollution du sous-sol (pédol.) / du matériau parental					
Cas	Exemple	Limitation à la verticale	Extension verticale	Distribution des polluants	Voies de migration des polluants
0	-Parcelles agricoles -Bords de routes -Agglomération	délimité	seulement couche supérieure du sol	dépendant de la profondeur	apport direct ou apport atmosphérique en surface seulement
1	-Lieu d'accident -Déplacement de sols pollués	non délimité	couches supérieure et inférieure du sol	dépendant de la profondeur	apport direct au niveau du sous-sol également
2	-Migration naturelle des polluants en profondeur	non délimité	couches supérieure et inférieure du sol	suyvant la structure du sol	atteinte secondaire par suite du transport des polluants dans la couche inférieure du sol

Echantillonnage de la couche supérieure du sol

Cas	Dispositif de prélèvement: répartition des points de prélèvement (chap. 3.4.2)	Type d'échantillons et constitution d'échantillons composés (chap. 3.4.3 et 3.4.4)
A	<ul style="list-style-type: none"> - 1 échantillon composé pour toute la surface - 1 échantillon composé pour des surfaces de référence - Répartition stratifiée (pour des surfaces étendues ou accueillant divers utilisateurs) 	<ul style="list-style-type: none"> - 1 échantillon représentatif de la surface totale pour l'ensemble: répartition systématique, aléatoire stratifiée ou diagonale - 1 échantillon représentatif pour chaque surface de référence: répartition systématique, aléatoire stratifiée ou diagonale
B	<ul style="list-style-type: none"> - Répartition systématique - Répartition en échiquier 	Plusieurs échantillons représentatifs de la surface: répartition systématique ou aléatoire stratifiée
C	<ul style="list-style-type: none"> - Répartition orientée suivant les hypothèses concernant la pollution 	Plusieurs échantillons représentatifs d'une ligne: répartition systématique sur la ligne (intervalles réguliers)
D	<ul style="list-style-type: none"> - Répartition orientée suivant les hypothèses concernant la pollution - Répartition systématique - Répartition en échiquier 	Plusieurs échantillons représentatifs d'une surface sur les terrains utilisés de manière extensive (autres pollutions exclues): répartition systématique ou aléatoire stratifiée
E	<ul style="list-style-type: none"> - Répartition systématique - Répartition en échiquier 	Plusieurs échantillons représentatifs d'une surface: répartition systématique ou aléatoire stratifiée

Echantillonnage du sous-sol (pédol.) / du matériau parental

Cas	Dispositif de prélèvement (chap. 3.4.2)	Type d'échantillons et constitution d'échantillons composés (chap. 3.4.3 et 3.4.4)
0	Pas d'étude nécessaire	
1	Choix de placettes représentatives, tenant compte des hypothèses faites au sujet de la pollution, en liaison avec l'étude de son extension horizontale	Echantillons en sondage (imprécis): <ul style="list-style-type: none"> - Répartition systématique ou aléatoire stratifiée des sondages sur une surface, en liaison avec l'échantillon représentatif de la surface - Echantillonnage à profondeurs fixes Echantillons en fosse (précis): <ul style="list-style-type: none"> - Prélèvement d'un échantillon composé ad hoc sur toute la paroi de fouille - Echantillonnage à profondeurs fixes
2	Choix de placettes représentatives, tenant compte des hypothèses faites au sujet de la pollution, en liaison avec l'étude de son extension horizontale	Echantillons en fosse: <ul style="list-style-type: none"> - Echantillonnage des horizons du sol - Echantillonnage séparé de la couche d'humus en forêt

5.4.2 Type d'échantillons

Le *tableau 11* permet de choisir le type d'échantillons nécessaires pour chaque cas de pollution (☞ *chap. 3.4.3*).

5.4.3 Constitution d'échantillons composés

Le *tableau 11* donne aussi des indications pour constituer des échantillons composés (☞ *chap. 3.4.4*).

5.4.4 Profondeur de prélèvement

La profondeur de prélèvement (☞ *chap. 3.4.5*) tient compte des questions posées et des objectifs fixés (☞ *chap. 5.1*):

- **Profondeurs de prélèvement pour le diagnostic du dépassement de valeurs indicatives, de seuils d'investigation et de valeurs d'assainissement**

Le *tableau 12* fixe les profondeurs de prélèvement à retenir pour apprécier un dépassement éventuel des valeurs indicatives, des seuils d'investigation et des valeurs d'assainissement. Des exceptions sont possibles dans les cas motivés (OSol: *ann. 1 et 2, chap. 2*).

- **Appréciation des risques lors du dépassement de seuils d'investigation**

Lorsqu'un seuil d'investigation est dépassé, il convient d'apprécier si la santé de l'homme, des animaux ou des plantes peut être menacée par le type d'utilisation considéré (art. 9 OSol). Cet examen intervient en général après délimitation spatiale des sols pollués. Il s'agit alors d'étudier la distribution verticale des polluants pour déterminer l'exposition des biens à protéger (cf. *tab. 12*). Les prélèvements se font à profondeurs fixes, avec des intervalles d'au moins 5 cm, pour garantir la reproductibilité des observations. L'épaisseur des passages et la profondeur maximale de prélèvement sont fixés en tenant compte des hypothèses de travail, des voies d'action et des biens à protéger. Il faut en outre se référer aux "*Directives sur l'évaluation des risques présentés par les sols pollués*" (OFEFP).

- **Appréciation de matériaux terreux**

Lors de la manipulation de matériaux terreux, la couche supérieure du sol ("humus") est en général séparée du sous-sol. L'échantillonnage du premier horizon se fait entre 0 et 20 cm de profondeur, si aucun gradient significatif de pollution n'est prévisible sur cette épaisseur. Dans le cas contraire, la profondeur de prélèvement doit être adaptée en conséquence (p. ex. 0–5 cm et 5–20 cm). Il faut alors tenir compte des coûts éventuels d'évacuation et des possibilités pratiques de décapage de l'horizon superficiel. Afin de ne pas fausser les résultats d'analyse, la profondeur de prélèvement doit être choisie de sorte à éviter un mélange des sols pollués et non pollués (interdiction de mélanger, art. 10 OTD).

Tableau 12: Profondeurs de prélèvement selon OSol (1998)

Valeur prescrite	Occupation du sol	Profondeur de prélèvement	Bien à protéger	Principale voie
Valeur indicative	–	0–20 cm	Sols Plantes	Zone des racines: Sols → Plantes
Seuil d'investigation	Cultures alimentaires	0–20 cm	Etres humains	Zone des racines: Sols → Plantes → Etres humains
	Cultures fourragères	0–20 cm	Animaux Etres humains	Zone des racines: Sols → Plantes → Animaux Couche superficielle du sol: Sols → Animaux
	Risque par ingestion	0–5 cm	Etres humains, animaux	Couche superficielle du sol: Sols → Etres humains Sol → Animaux
Valeur d'assainissement	Agriculture et jardinage	0–20 cm	Animaux Etres humains	Zone des racines: Sols → Plantes → Animaux Sols → Plantes → Etres humains Couche superficielle du sol: Sols → Animaux
	Jardins familiaux	0–20 cm	Etres humains	Zone des racines: Sols → Plantes → Etres humains Couche superficielle du sol: Sols → Etres humains
	Places de jeu	0–5 cm	Etres humains	Couche superficielle du sol: Sols → Etres humains

5.4.5 Description du site

La description du site se fait conformément au *chapitre 3.4.7*. Suivant les cas, d'autres données doivent être rassemblées lors de l'échantillonnage réalisé pour la délimitation spatiale des sols pollués (*FAL 1997*):

- granulométrie (teste tactile);
- calcaire (test au HCl);
- pH (test rapide).

Pour apprécier la mobilité et la disponibilité des polluants minéraux et pour connaître les possibilités d'utilisation des matériaux terreux, il est en outre nécessaire de disposer d'informations sur:

- les déchets présents dans le sol (débris de démolition, fils de fer, plastiques, etc.);
- la couleur et l'odeur (attention aux substances toxiques !).

5.4.6 Quantités à prélever

Le poids nécessaire des échantillons est déterminé conformément au *chapitre 3.4.6*.

Autres publications utiles

- Baize D., 2000, Guide des analyses en pédologie, 257 p., INRA édition, ISBN 2-7380-0892-5, Paris.
- Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 1997, Probenahme von Böden und Substraten zur Erfassung des Bodenzustandes und Untersuchung kontaminierter Standorte, Umwelt & Entwicklung Materialien, 77 p., Nr. 129.
- ISO, 1995a, Soil quality – Sampling, Part 1: Guidance on the design of sampling programmes (ISO/DIS 10381-1), 44 S., Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin.
- ISO, 2002c, Soil quality – Sampling, Part 5: Guidance on the procedure for investigation of urban and industrial sites with regard to soil contamination (ISO/DIS 10381-5), 24 p., Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin.
- OFEFP, 1994, Regional soil contamination surveying, A: technical note, B: case study, Environmental documentation n°. 25 – Soil, 70 p., Berne.
- Mathieu C. et Pieltain F., 1998, Analyse physique des sols, 275 p., Lavoisier TEC/DOC, ISBN 2-4730-0283-2, Paris.
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 1998, Probenahme bei der Technischen Erkundung von Altlasten, Materialien zur Altlastenbehandlung Nr. 3, 87 p., Dresden.

6 Exécution des prélèvements

6.1 Information des personnes concernées

En principe, chacun est tenu de fournir les renseignements nécessaires aux études et de tolérer celles-ci (art. 46 LPE). Il est cependant à chaque fois judicieux d'informer les personnes concernées (propriétaires, locataires, exploitants) en temps opportun et de les préparer ainsi à tolérer les travaux prévus.

6.2 Mesures de sécurité

Des mesures de sécurité doivent être prises pour éviter les accidents. Leur utilité est appréciée à partir de l'enquête préalable (*☞ chap. 3.2, 4.2, 5.2*) et du programme d'étude (*☞ chap. 3.3, 4.3, 5.3*). Elles comprennent:

- des mesures de protection lors de la manipulation de sols pollués par des substances dangereuses pour la santé (gants, masques, lunettes et vêtements de protection, etc.), l'abandon des contrôles olfactifs;
- la protection des fouilles contre les éboulements (étagage) et contre la chute d'objets (barrage);
- le port du casque lors de l'engagement de machines;
- le port d'une veste de signalisation, lorsque les travaux se déroulent sur les voies de circulation.

Autres publications utiles

ISO, 2002b, Soil quality – Sampling, Part 3: Guidance on safety (ISO/DIS 10381-3), 49 p., Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin.

6.3 Recherche d'obstacles souterrains et demandes d'autorisation

Recherche d'obstacles souterrains

A titre préventif, il faut vérifier la présence éventuelle de conduites souterraines ou de câbles (gaz, eau, eaux usées, électricité, chauffage à distance, téléphone, télé-réseau, etc.), lorsqu'il est prévu d'engager une machine pour les prélèvements. Les câbles de téléphone, de radio et de TV surtout sont posés à faible profondeur. Il est recommandé de fournir un document de synthèse à ce sujet et d'obtenir le feu vert du mandant par écrit. Un appareil de repérage de conduite peut être utile sur le terrain, mais il ne réagit bien entendu pas à tous les types de matériaux (p. ex. fibres optiques).

Autorisation

Une autorisation peut être requise, suivant l'importance des études à réaliser (p. ex. forages, art. 32 OEaux). Il faut ainsi prendre contact avec le service cantonal de la protection des eaux lorsque les travaux peuvent influencer des eaux souterraines, donc si le lieu de prélèvement se trouve dans le secteur A_u de protection des eaux.

6.4 Personnel

Le prélèvement d'échantillons doit être confié à du personnel instruit des problèmes à résoudre et des objectifs à atteindre, du plan de prélèvement et de la procédure à suivre pour le choix de placettes de remplacement (☞ *chap. 3.4.2*). Le collaborateur responsable doit disposer de connaissances en pédologie.

6.5 Programme

Exploitation

Sur les prairies temporaires et anaturelles, l'accès est garanti au mieux après fauchage. Sur les terres ouvertes, il est conseillé d'intervenir après la récolte, mais avant la préparation des semailles. Le sol est alors compact et de densité uniforme. Il faut éviter les prélèvements après labourage, car le sol ameubli (échantillons incomplets) présente une surface irrégulière (pas de contrôle de la profondeur de prélèvement), et laisser passer le plus de temps possible depuis la dernière application de matières auxiliaires (engrais, produits phytosanitaires).

Variations saisonnières des grandeurs mesurées

Les teneurs en polluants minéraux solubles varient avec les saisons, avant tout en raison des changements de pH (humidité du sol, végétation), alors que les teneurs totales ne dépendent en règle générale pas du moment du prélèvement.

Conditions météorologiques

Il ne faudrait pas travailler par mauvais temps (neige, pluie, grands froids), car le risque de contamination augmente; l'expérience montre en outre que les prélèvements se font alors de manière moins soigneuse. Il est plus facile de prendre des échantillons lorsque le sol est légèrement humide; l'instrument de prélèvement pénètre mieux et fournit la même quantité de matière lors de chaque prise (représentativité), ce qui n'est pas garanti avec des sols trop secs. Pour les études à long terme, les conditions météorologiques devraient être à peu près semblables lors de chaque prélèvement.

L'engagement de machines lourdes oblige à laisser sécher la couche supérieure et le sous-sol (risque de compactage).

Ordre de prélèvement

Il faut prélever en premier lieu les échantillons présumés les moins pollués. Il est ainsi possible d'éviter dans une large mesure la contamination par transport. Pour les mêmes raisons, les prélèvements se font du bas vers le haut dans les profils.

6.6 Quantités à prélever

Les quantités à prélever sont fixées dans le plan d'échantillonnage. Elles doivent être atteintes au moyen d'un nombre approprié d'échantillons simples et grâce au choix du bon instrument de prélèvement. Le matériel en surplus ne doit jamais être rejeté sur place, pour préserver la représentativité des échantillons. Son élimination se fait sous contrôle, en laboratoire. Pour le cas imprévu, où le matériel recueilli ne suffirait pas, un nouveau prélèvement s'avère indispensable.

6.7 Instruments pour le prélèvement des échantillons

Le choix de l'instrument va dépendre des quantités à prélever, de la profondeur de prélèvement, du nombre d'échantillons simples, du diamètre choisi pour le sondage, de la texture du sol et du risque de contamination. Le *tableau 13* énumère les principaux instruments utilisés pour le prélèvement des échantillons, avec leurs caractéristiques propres.

Tableau 13: Domaine et limites d'utilisation des instruments pour le prélèvement

Instrument pour le prélèvement	Capacité de prélèvement pour échantillons / sols (☞ chap. 3.4.3)
Gouge avec spatule (gouge simple ou gouge striée)	<ul style="list-style-type: none"> - Appropriée en routine et pour une large gamme de sols - Échantillons représentatifs de surfaces et de lignes pour la couche supérieure de sols minéraux entre 5 et 30 cm - Sondages jusqu'à environ 120 cm (Pürckhauer) - Très solide, convient aussi pour des sols grossiers - Peu précise pour des prélèvements effectués à différentes profondeurs, en raison des phénomènes de mélange et de bourrage, en particulier dans les sols très argileux et dans les sols grossiers - Les sols sableux secs ne sont pas retenus, en particulier dans les outils de grand diamètre - Inapproprié pour les sols organiques
Carottier (humax à clapet de retenue)	<ul style="list-style-type: none"> - Échantillon remanié, surtout dans la couche supérieure de sols fins jusqu'à 30 cm - Tendance au bourrage dans les sols argileux - Pas toujours approprié pour les sols organiques
Tarière à main	<ul style="list-style-type: none"> - Description qualitative du sol - Mal appropriée au prélèvement d'échantillon pour la recherche de polluants (repérage imprécis de la profondeur, quantité à prélever) - Tarière Edelman: sols grossiers, sableux à argileux, faible résistance à la pénétration - Tarière Riverside: sols durs, incrustés et sols avec gravier fin, moindre risque de mélange - Tarière pour sols pierreux
Boîte métallique enfoncée in situ	<ul style="list-style-type: none"> - Couche d'humus avec litière - Échantillons non remaniés de couches de sol minces et d'horizons d'épaisseur inférieure à 5 cm dans l'horizon A (peu précis) - Inapproprié pour la constitution d'échantillons composés
Cylindre métallique enfoncé in situ	<ul style="list-style-type: none"> - Échantillon non remanié - Peu approprié dans les sols grossiers
Spatule	<ul style="list-style-type: none"> - Échantillons en fosse pédologique - Peu approprié dans les sols grossiers

Diamètre de l'instrument et caractéristiques des sols

Le diamètre de l'instrument est choisi en fonction de la texture du sol, de la résistance à la pénétration et des quantités à prélever. Les sols devraient être si possible uniformément humides lors du prélèvement. Des sols secs riches en argile sont très durs, tandis que des sols sableux secs échappent au préleveur. En revanche, des sols humides bourrent et collent, lorsqu'ils renferment une forte proportion d'argile, tandis qu'ils coulent, lorsqu'ils sont sableux. Le prélèvement de sols organiques et de couches d'humus (horizon A₀) implique enfin l'utilisation d'instruments coupants et de grand volume intérieur (☞ chap. 6.8).

Prévention de la contamination

Les instruments de prélèvement doivent être résistants, et ne pas contaminer les échantillons. Ils remplissent ces conditions lorsqu'ils sont en fer ou en acier dur (*Desaules 1989*), mais ne conviennent pas lorsqu'ils sont formés d'alliages de haute qualité. Ils ne doivent ainsi pas être chromés, nickelés ou laqués. D'éventuelles couches protectrices (huile) ou d'oxydes (rouille) doivent être enlevées totalement avant l'emploi. Les instruments sont ainsi enfoncés plusieurs fois dans le sol pour les nettoyer et les échantillons correspondant rejetés. Lors de l'engagement de machines (pelle hydraulique, machine de forage), il faut prendre garde que les lubrifiants, les carburants et les gaz d'échappement ne provoquent pas une pollution des échantillons. Des contaminations éventuelles peuvent être mises en évidence par l'analyse des matériaux (*Desaules 1989*) et des résidus de lavage (*Black 1988*).

Autres publications utiles

ISO, 2002a, Soil quality – Sampling, Part 2: Guidance on sampling techniques (ISO/DIS 10381-2), 48 p., Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin.

6.8 Constitution d'échantillons non remaniés

Dans le cadre d'études de pollution, les échantillons non remaniés permettent de déterminer la densité apparente des sols (poids volumique, bulk density) et donc de convertir les concentrations-poids (mg/kg) en concentrations-volumes (mg/dm³), lorsque les sols renferment plus de 15 % d'humus (OSol 1998, Ann. 1). Comme la densité apparente varie souvent beaucoup, il faut prélever au moins 5 échantillons par placette et par profondeur ou par horizon.

Echantillon non remanié de la couche supérieure du sol

Le prélèvement d'échantillons non remaniés se traduit par un impact important sur la couche supérieure du sol, car les volumes à prélever sont très grands. Cela n'est pas souhaitable dans le cadre d'études à long terme (*☞ chap. 4*), où les échantillons non remaniés ne doivent pas être prélevés directement sur les surfaces retenues pour l'observation, mais directement à côté. Le prélèvement peut toutefois intervenir sur la même surface s'il conserve un caractère exceptionnel.

Echantillon non remanié du sous-sol

Pour la même raison, les échantillons non remaniés du sous-sol sont prélevés sur une paroi de la fosse, après que tous les autres échantillons aient été pris.

6.9 Fiches

Les fiches servent tout à la fois à relever les données utiles à l'interprétation, à appliquer le système d'assurance de la qualité (*☞ chap. 2*) et à permettre la comparaison avec d'autres études. Les fiches suivantes figurent en *annexe 5*:

- fiche "*Prélèvement*";
- fiche "*Préparation des échantillons*";
- fiche complémentaire "*Profil du sol*";
- fiche complémentaire "*Echantillonnage ultérieur*";
- fiche complémentaire "*Agriculture*";
- fiche complémentaire "*Sylviculture*".

Elles sont présentées au *chapitre 8* et comprennent à chaque fois une série d'indications minimales, marquées en **gras**, qu'il faut absolument prendre en compte pour garantir un déroule-

ment correct de la procédure et une bonne comparabilité. Un développement intervient ensuite conformément au programme d'étude ou au plan d'échantillonnage.

6.10 Implantation des placettes de prélèvement

L'implantation d'une placette de prélèvement (fig. 7) doit être faite avec la précision nécessaire aux études (☞ *tab. 3, chap. 3.3*). Cela implique:

- un point de repère: visible sur la carte nationale 1:25 000 (p. ex. croisée de routes, maison, etc.), indication des coordonnées;
- au minimum 3 points fixes: faciles à trouver sur le terrain, reconnaissables à long terme, indépendants les uns des autres (bornes, poteaux ou pylônes, coins de maison), si possible distants de moins de 50 m (longueur de la chevillère);
- point d'implantation: coin ou centre de la surface de prélèvement;
- alignement: orientation de la surface de prélèvement relevée à la boussole (peu précis) ou au théodolite (précis).

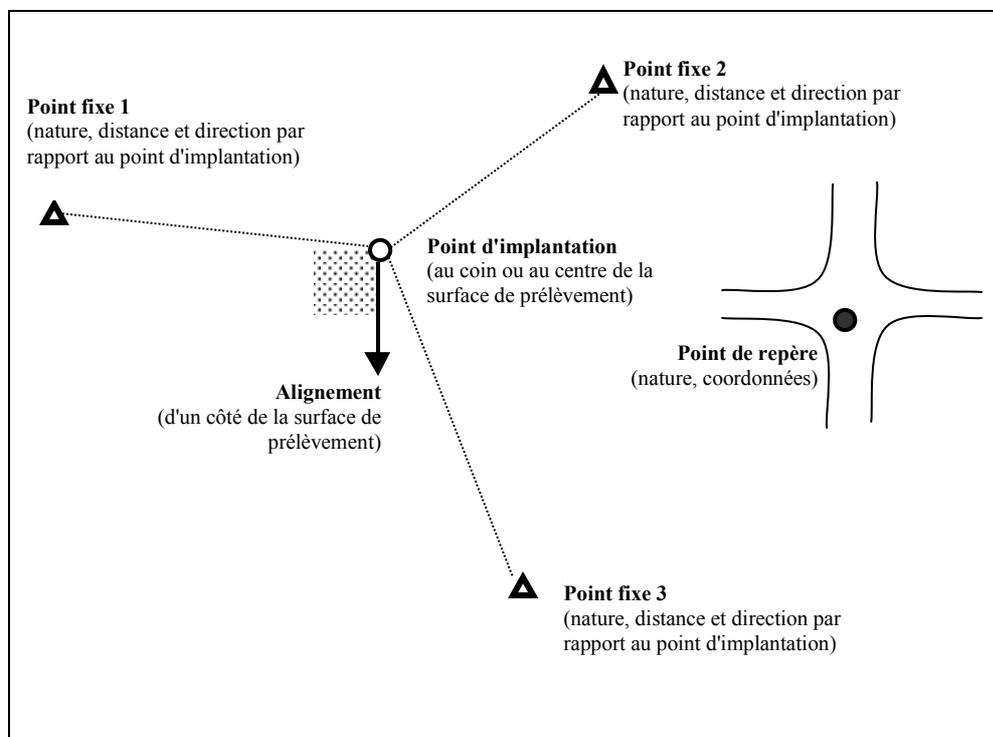


Figure 7: Implantation de la placette de prélèvement

Une implantation à la chevillère autorise une précision de ± 0.5 m, si les angles formés par les points fixes et le point d'implantation ne sont pas trop aigus ou obtus. Les résultats des mesures sont reportés sous la forme d'un schéma de situation sur la fiche "Prélèvement".

Lorsqu'il est nécessaire de retrouver la position de manière exacte (p. ex. études à long terme), les coins de la surface de prélèvement peuvent être marqués à l'aide d'aimants ou de tubes métalliques enterrés à une profondeur d'au moins 60 cm (travail du sol, profondeur du gel). La recherche se fait alors au moyen d'un détecteur électromagnétique. Le point d'implantation ne peut en revanche pas être équipé d'un aimant pour ne pas perturber le repérage (boussole).

Pour bien des placettes, un repérage au GPS est assez précis (en particulier le système SWIPOS, informations à ce sujet auprès de l'Office fédéral de topographie).

6.11 Emballage, étiquetage et transport des échantillons

Emballage des échantillons

Les matériaux doivent être choisis de telle manière que les polluants ne soient pas adsorbés à la surface des emballages ou que ceux-ci ne puissent pas contaminer les échantillons. Des échantillons témoins sont utilisés pour le contrôle (*Black 1988*). Les emballages ne peuvent pas servir plusieurs fois.

Des récipients ou des sachets en matière plastique peuvent être utilisés lorsqu'il s'agit de rechercher les polluants minéraux, les PAH et les PCB (*Desaules et Dahinden 2000*). Il faut autant que possible réduire le volume d'air inclus. Avec les sachets en plastique, il vaut la peine de doubler l'emballage, pour augmenter la protection.

Pour la recherche des dioxines et des autres polluants organiques (à l'exception des études de routine portant sur les PAH et les PCB), il faut en revanche utiliser des récipients en verre, avec une fermeture ne contenant pas de plastique.

Étiquetage des échantillons

Aussitôt après remplissage, le récipient contenant l'échantillon est muni d'une inscription claire et précise, reportée directement à l'aide d'un marqueur indélébile. L'étiquetage doit éviter toute confusion, il renseigne sur:

- le projet (désignation, numéro d'identification);
- l'échantillon (numéro d'identification);
- la date.

Ces informations sont répétées sur la fiche "*Prélèvement*" et complétées de manière à ce que l'origine de l'échantillon puisse être connue à tout moment. L'utilisation d'emballages à fermetures séparées oblige à inscrire au moins les numéros d'échantillon sur les deux parties. Des contaminations par échange de couvercles peuvent ainsi être évitées. Le bulletin de livraison adressé au laboratoire d'analyses doit en outre comporter des indications au sujet d'éventuels échantillons de réserve ou d'échantillons à archiver.

Transport des échantillons

Les échantillons doivent être livrés au plus tard dans les deux jours au laboratoire, où ils sont séchés (*chap. 7.1*). Les échantillons destinés à la recherche de polluants organiques sont autant que possible transportés au frais et toujours à moins de 30 °C. Les échantillons non remaniés ne doivent pas être secoués.

La remise des échantillons au laboratoire se fait avec un bulletin de livraison ou un bon de commande comportant les indications suivantes:

- projet (désignation, numéro d'identification);
- échantillons livrés (désignation des échantillons);
- programme d'analyse conforme à la définition des études (*chap. 3.3*);
- brève présentation des questions posées et des objectifs poursuivis;
- date et signature.

La traçabilité est ainsi assurée. Le personnel de laboratoire peut préparer les échantillons et procéder aux analyses en tenant compte des questions posées et des objectifs fixés.

7 Préparation et archivage des échantillons

7.1 Etapes de la préparation des échantillons

Le risque de contamination est important lors de la préparation des échantillons. Il peut avoir pour origine le déplacement de matériel provenant d'échantillons pollués, le contact avec des instruments mal nettoyés ou des mains sales, la formation de poussières ou l'utilisation de matériel non approprié (solicitation mécanique). Pour les polluants organiques, les contrôles de contamination se font avec des échantillons de sable de quartz calciné subissant les mêmes opérations de préparation et, pour les polluants minéraux, avec des échantillons de référence à concentrations connues (*Black 1988*).

Réception des échantillons en laboratoire

1. A l'arrivée au laboratoire, des contrôles sont effectués pour vérifier la conformité du bulletin de livraison avec les échantillons reçus et avec les analyses demandées.
2. Le poids des échantillons humides (poids brut du sol en place) est déterminé en vue de l'interprétation des résultats.

Il faut si possible traiter rapidement les échantillons prélevés, car l'état du matériel influence les résultats d'analyse (p. ex. suite à des phénomènes microbiologiques). Pour le cas où un entreposage intermédiaire serait malgré tout nécessaire, les conditions suivantes devraient être respectées:

- récipients bien fermés;
- durée d'entreposage maximale: 10 jours;
- température d'entreposage maximale: +4 °C.

Séchage

3. Après réception, l'échantillon reçu est séché à 40 °C jusqu'à poids constant dans un four à circulation d'air. Le séchage doit être effectué le plus rapidement possible, par exemple en mois de 2 jours. Il est donc indiqué d'étendre le sol en couches minces.

Lorsque les échantillons renferment une forte proportion d'argile, il est recommandé de les émietter à la main en cours de séchage, en évitant de disperser le matériel. La durée de séchage peut influencer fortement les teneurs en mercure (Hg), relativement volatil (*Schwab et al. 2002*).

4. Les échantillons séchés sont pesés pour assurer la conversion ultérieure des résultats d'analyse (poids brut sec, teneur en eau, ☞ *étape 12*).

Entreposage après séchage

5. Pour le cas où les autres opérations de préparation interviennent plus tard, les échantillons peuvent être entreposés en attendant aux conditions suivantes:
 - fermeture et étiquetage clair des récipients (prévention de la contamination par des poussières et du risque de confusion);
 - température maximale d'entreposage: +20 °C (inhibition des processus microbiologiques).

Epuration et réduction des agregats

6. Les pierres, les parties organiques (débris végétaux) et les déchets (p. ex. matériaux de démolition) sont enlevés à la main et mis de côté pour la pesée ultérieure (☞ *étape 9*). La présence de déchets doit être mentionnée dans la fiche "*Préparation des échantillons*".
7. Les échantillons sont ensuite émottés, mais généralement pas moulus, car cette dernière opération peut fortement influencer la solubilité des polluants présents (*Houba et al. 1993*). Des mortiers, des émotteurs à rouleaux ou à mâchoires, ainsi que d'autres appareils se prêtent à ces travaux.

En raison des fortes sollicitations mécaniques qu'elle suppose, cette opération s'accompagne d'un risque élevé de contamination, qu'il est possible de réduire par un choix approprié du matériel. Les appareils utilisés doivent être nettoyés après chaque cycle de broyage, pour empêcher toute dispersion du matériel à analyser.

Tamissage

8. Après réduction des agregats, les échantillons sont passés sans forcer à travers un tamis de 2 mm de maille.
9. Après tamissage, la partie fine et le refus de tamissage sont pesés pour contrôler les pertes éventuelles (☞ *étape 6*).

Pour les études de routine, la nature du tamis n'est pas déterminante, car les risques de contamination sont liés d'abord au prélèvement lui-même, puis aux opérations d'émottage. Pour des études particulières (p. ex. analyses de traces, de substances fortement adsorbées), il faut cependant choisir soigneusement le matériel.

Il est important de relever que les étapes suivantes de préparation concernent exclusivement la terre fine (<2 mm). Les résultats des analyses ne se rapportent par conséquent qu'à cette fraction.

Broyage

Les échantillons de sols ne sont broyés plus fins que si des polluants y sont présents sous forme particulaire (p. ex. éclats de balles) et si les concentrations totales sont mesurées. Ces dernières sont à peine influencées par la réduction en poudre (*Houba et al. 1993*).

Partage

10. Après tamissage, la partie fine est partagée entre les échantillons de laboratoire, y compris les échantillons de réserve, et – suivant les objectifs poursuivis – les échantillons à archiver (☞ *chap. 3.4.6*).

Le partage se fait de telle manière que chacune des prises soit représentative du tout (☞ *chap. 2.2*). Cela ne peut avoir lieu que si l'échantillon est pulvérulent, soit séché, émotté et tamisé. Pour la fraction inférieure à 2 mm, des prises de 5 g sont représentatives (*Houba et al. 1993*), avec cependant des exceptions pour les échantillons renfermant des polluants sous forme particulaire (p. ex. des éclats de balles). Pour les sols particulièrement riches en argile, il faut empêcher la formation de poussières, en raison des risques de perte et de contamination. Le partage peut se faire à l'aide de diviseurs d'échantillons à couloirs, de diviseurs d'échantillons rotatifs, de diviseurs de laboratoire ou par la méthode du tas divisé en quatre. Pour garantir la représentativité des prises successives, il faut appliquer les règles du partage de manière conséquente jusqu'au niveau de l'analyse.

Détermination de la matière sèche

11. Pour déterminer la matière sèche (MS) il faut peser un échantillon partiel représentatif (poids à 40 °C), le sécher à 105 °C jusqu'à poids constant et le peser à nouveau (poids à 105 °C).
12. Le résultat d'analyse à 40 °C est converti au moyen de la formule suivante pour déterminer la teneur en polluant à 105 °C:

$$\text{Teneur en polluant}_{T=105^{\circ}\text{C}}[\text{mg} / \text{kg MS}] = \frac{\text{Poids}_{T=40^{\circ}\text{C}}[\text{g}] \cdot \text{Résultat d'analyse}_{T=40^{\circ}\text{C}}[\text{mg/kg}]}{\text{Poids}_{T=105^{\circ}\text{C}}[\text{g}]}$$

13. Pour des sols renfermant plus de 15 % de matière organique, la teneur en polluant s'exprime par rapport au volume, le poids volumique sec étant également déterminé à 105 °C:

$$\text{Teneur en polluant}_{\text{Volume}}[\text{mg} / \text{dm}^3] = \text{Teneur en polluant}_{T=105^{\circ}\text{C}}[\text{mg} / \text{kg MS}] \cdot \text{Poids volumique sec}_{T=105^{\circ}\text{C}}[\text{kg} / \text{dm}^3]$$

7.2 Archivage des échantillons

7.2.1 Echantillons à archiver

Les échantillons à archiver doivent être secs, placés dans des récipients propres, bien fermés et étiquetés de manière claire et permanente.

7.2.2 Conditions d'archivage

Les échantillons conservés pour les polluants minéraux doivent être archivés dans un espace sombre et sec, caractérisé par de faibles variations de température et d'humidité. La température d'archivage ne doit pas dépasser +20 °C. Les échantillons réservés aux analyses de polluants organiques, dans le cadre d'études à long terme (observation et surveillance à long terme) doivent être archivés à une température d'au moins -20 °C, car une volatilisation n'est sinon pas exclue.

Autres publications utiles

- Berndt G.F. 1988, Effect of drying and storage conditions upon extractable soil manganese, *J.Sci.Food Agric.*, 45, 119–130.
- Black S.C., 1988, Defining Control Sites and Blank Sample Needs, *in*: Keith L.H (ed), *Principles of Environmental Sampling*, Washington, American Chem.Society, 110–117.
- Desaules A., 1989, Die Erfassung und Beurteilung der Schwermetallkontamination bei der Verwendung von Stahlgeräten für die Entnahme und Aufbereitung von Bodenproben, *Bull.Bodenkundl.Ges.Schweiz*, 13, 93–96.
- Desaules A., Dahinden R., 2000, Zum Einfluss von Trocknungstemperatur und Kunststoff-Kontakt auf PAK- und PCB-Analysen in Bodenproben bei Routineuntersuchungen, 34 p., NABO/FAL-Reckenholz.
- Fachstelle Bodenschutz Kanton Zürich, 1999, Anleitung zur Probenvorbereitung und Archivierung (Standard-Arbeitsanweisung Labor), 8 p., Volkswirtschaftsdirektion Kanton Zürich.
- Houba V.J.G. et al, 1993, Influence of grinding of soil on apparent chemical composition, *Commun.SoilSci. Plant.Anal.*, 24, 1591–1602.
- Houba V.J.G. et al, 1994, Aspects of pre-treatment of soils for inorganic chemical analysis, *Quimica Analitica*, 13, 94–99.
- Jansky H.-J., Fischer H., 1997, Die Probenvorbereitung als eine Quelle der Ergebnisunsicherheit von Schadstoffbestimmungen in Bodenproben, *TerraTech*, 6, 35–39.
- ISO, 1996b, Soil quality – Pretreatment of samples for physico-chemical analyses, ISO 11464, 9 p., Geneva.

8 Commentaires aux fiches

L'*annexe 5* comprend les fiches suivantes:

- **Fiche "Prélèvement"** (cf. *ann. 5-1*), comme fiche principale pour chaque prélèvement;
- **Fiche "Préparation des échantillons"** (cf. *ann. 5-2*) pour renseigner sur la préparation des échantillons;
- **Fiche complémentaire "Profil pédologique"** (cf. *ann. 5-3*) pour décrire les caractéristiques pédologiques du sol et les profils;
- **Fiche complémentaire "Echantillonnage ultérieur"** (cf. *ann. 5-4*) pour définir les prélèvements à effectuer dans le cadre des études à long terme;
- **Fiche complémentaire "Agriculture"** (cf. *ann. 5-5*) pour enregistrer l'affectation des placettes utilisées par l'agriculture;
- **Fiche complémentaire "Sylviculture"** (cf. *ann. 5-6*) pour enregistrer l'affectation des placettes utilisées par la sylviculture.

Chaque fiche précise ce qu'il convient de relever, comment et pourquoi, tout en renvoyant aux développements correspondants du manuel.

Les numéros des différentes positions renvoient aux commentaires. Les séries de données figurant en **gras** correspondent au minimum à fournir: elles renferment des informations de base et sont indispensables pour établir des comparaisons. Les fiches doivent être remplies de manière lisible et de sorte à pouvoir être photocopiées. Les fiches complémentaires sont utilisées de cas en cas, mais sont toujours jointes à la fiche "*Prélèvement*" correspondante.

Fiche "Prélèvement" (Ann. 5-1)

1 Identification

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
11 Projet	Désignation, respectivement n° du projet et de la station / parcelle, date, opérateur (entreprise, nom, adresse, téléphone)	-Documentation (☞ chap. 2.2) -Traçabilité (☞ chap. 2.2)
12 Emplacement	Commune, localité, canton, lieu-dit, coordonnées (X,Y, précision), altitude (m.s.m.), n°. C.N., n°. registre foncier	-Repérage ultérieur de la placette
13 Contacts	Propriétaire, exploitant (entreprise, personne de contact, adresse, téléphone), personne concernée	-Demande de précisions -Traçabilité (opérateur responsable)
14 Hypothèses de travail	Voie de pénétration de la pollution, diffusion des polluants, délimitation des sols pollués, modèle de pollution	-Influence des hypothèses de travail (☞ chap. 3.2) sur le plan d'échantillonnage
15 Fiches complémentaires	Référence aux fiches complémentaires	-Indication au sujet d'études en cours -Création d'un lien avec la Fiche "Prélèvement" (traçabilité)
16 Etudes ultérieures	Prévues / non prévues	-Mention d'études déjà réalisées, en cours ou prévues (☞ Fiche complémentaire "Echantillonnage ultérieur")

En gras: données minimales

2 Situation de la placette de prélèvement

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
21 Croquis de situation	Placette de prélèvement (surface de prélèvement, sondages, fosses pédologiques), point de repère, points fixes, photos	-Repérage ultérieur de la placette de prélèvement avec une précision suffisante (☞ chap. 6.10)
22 Légende	Signes conventionnels, point de repère, points fixes	
23 Informations complémentaires	Description	-Enregistrement d'autres informations concernant le repérage (p. ex. aimants)

En gras: données minimales

3 Prélèvement et transport des échantillons

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
31 Dispositif de prélèvement	Schéma	-Repérage ultérieur -Constitution d'échantillons composés (☞ chap. 3.4.4)
32 Légende	Signes conventionnels	
33 Conditions météorologiques pendant le prélèvement	Temps sec, pluie, neige, durée (y compris jours précédents)	-Appréciation de la qualité du prélèvement (☞ chap. 6.5)
34 Etat du sol	Sec, humide, gorgé d'eau, gelé	-Appréciation de la qualité du prélèvement (☞ chap. 6.5)
35 Mesures de sécurité	Oui / non. Dans l'affirmative: lesquelles?	-Enregistrement des mesures de sécurité nécessaires (☞ chap. 6.2)
36 Informations complémentaires	Description	-Enregistrement d'autres informations concernant le prélèvement (p. ex. "Les prélèvements n'ont pas pu être effectués conformément à la grille choisie, en raison de la forte résistance du sol à la pénétration")
37 Transport des échantillons	Réfrigéré / non réfrigéré, durée du transport (jours)	-Stabilité des échantillons

En Gras: données minimales

4 Occupation du sol et végétation

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
41 Occupation actuelle du sol	<p>Agriculture: Prairie permanente, pâturage, alpage, terres assolées, vigne, maraîchage, arboriculture, autres (laquelle?) Distance à parcourir depuis la ferme</p> <p>Sylviculture: Résineux, feuillus, forêt mixte, autre (laquelle?)</p> <p>Zone bâtie: Jardin potager, jardin familial, place de jeu pour enfants, autre (p. ex. places de parc)</p> <p>Autre (p. ex. friche industrielle)</p>	<p>-L'occupation du sol est un critère important pour apprécier les apports de polluants et les risques pour l'homme, les animaux ou les plantes</p> <p>-Intensité de l'exploitation (p. ex. parcelle proche de la ferme)</p> <p>-Agriculture et sylviculture: pour d'autres relevés (p. ex. appréciation de l'influence de l'exploitation sur les teneurs en polluants), utiliser la ☞ Fiche complémentaire "Agriculture" ☞ Fiche complémentaire "Sylviculture"</p> <p>-Forêt, lisière de forêt: indication des apports de polluants par effet de peigne</p> <p>-Zone bâtie: la classification se fait en tenant compte des seuils d'investigation et des valeurs d'assainissement. Les autres utilisations doivent cependant être évoquées (p. ex. friche industrielle, talus routier, remblai de chemin de fer)</p>
Durée de l'utilisation	Depuis (années), durée (ans)	-Evaluation du degré de pollution du sol
42 Utilisations précédentes	Données sur les utilisations précédentes; de ... à (années); durée 8 ans	-Influences d'utilisation anciennes sur la pollution du sol

43 Couverture végétale	Végétation et degré de couverture (%), litière (cm)	-Appréciation de l'utilisation actuelle -Indication de dommages éventuels par des polluants (croissance de la végétation, dégradation de la couche d'humus)
44 Informations complémentaires	Description	-Enregistrement d'autres informations concernant l'occupation du sol et la végétation (p. ex. "Utilisation précédente décrite dans le rapport, "Investigation historique du site Muster AG,, du 23 juin 2001")

En gras: données minimales

5 Climat et pollution atmosphérique

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
51 Type de placette	Campagne, agglomération, ville, proximité de route, proximité d'industries, alpine	-Appréciation des apports atmosphérique (avis qualitatif sur la pollution de fond)
52 Emissions	Liste des sources de pollution atmosphériques (<i>ann. 2</i>) susceptibles d'influencer la placette de prélèvement (direction, distance jusqu'à la placette, différence d'altitude, obstacles)	-Appréciation des apports atmosphériques à l'échelle locale et régionale
53 Climat et exposition	Précipitations annuelles (mm/an), directions principales des vents, exposé / protégé	-Appréciation des apports atmosphériques -Appréciation des conditions hydrologiques locales (influence sur le sol et sur sa formation)
54 Informations complémentaires	Description	-Enregistrement d'autres informations sur le climat et sur les immissions dues à des pollutions atmosphériques (p. ex. "Station cantonale permanente de mesure de la qualité de l'air à 100 m au sud-ouest, coordonnées: 635.420/-289.150")

En gras: données minimales

6 Relief

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
61 Morphologie	Plateau/terrasse/plaine, fond de vallée/cuvette, sommet/crête/côte/falaise, versant, pied de versant, fossé, zone alluviale/cône de déjection	-Appréciation de l'ablation et de l'accumulation par érosion
62 Position et exposition	Zone d'ablation, zone d'accumulation, zone stable, pente (%), exposition (direction)	-Appréciation de l'ablation et de l'accumulation par érosion -Appréciation de l'influence du vent pour les apports atmosphériques

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
63 Informations complémentaires	Description	-Enregistrement d'autres informations concernant le relief (p. ex. "Remblai de chemin de fer, coordonnées 635.420/-289.150")

En gras: données minimales

7 Géologie et hydrologie

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
71 Géologie	Roche-mère: type de roche et classification (avec l'aide des cartes géologiques, détermination par un spécialiste), calcaire?	-Appréciation des teneurs de fond des roches et du fond régional (☞ Ann. 3)
72 Hydrologie	Niveau des eaux souterraines, zone inondable, karst (avec l'aide des cartes hydrogéologiques)	-Appréciation d'atteintes éventuelles aux eaux souterraines
73 Informations complémentaires	Description	-Enregistrement d'autres informations concernant la géologie et l'hydrogéologie (p. ex. "Région connue pour sa teneur de fond élevée en cadmium")

En gras: données minimales

8 Données concernant l'échantillon

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
81 Description de l'échantillon	Description ou numéro d'identification	-Traçabilité, -Élimination du risque de confusion
82 Horizon du sol	Classification suivant <i>FAL (2002) / BGS (2002)</i>	-Traçabilité -Importance pour les analyses pédologiques (comparaison entre horizons et profondeurs)
83 Profondeur de prélèvement	Indication de la profondeur de ... à ... (cm), avec/sans litière (cm)	-Traçabilité, exécution conforme au plan d'échantillonnage -Définition de la profondeur 0 cm (☞ chap. 3.4.5) -Appréciation et interprétation
84 Type d'échantillon	Echantillon représentatif d'une surface ou d'un transect, en fosse, en sondage, échantillon volumique	-Traçabilité, exécution conforme au plan d'échantillonnage (☞ chap. 3.4) -Appréciation et interprétation
85 Nombre d'échantillons simples	Nombre	-Traçabilité, constitution de l'échantillon composé (☞ chap. 3.4.4) -Appréciation de la représentativité
86 Instrument de prélèvement	Gouge manuelle, Edelman, Riverside, Humax, autre (diamètre)	-Traçabilité -Qualité des prélèvements: utilisation de l'instrument approprié (☞ chap. 6.7)
87 Emballage	Plastique, feuille d'aluminium, verre, autres	-Appréciation du risque de contamination (☞ chap. 6.11)

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
88 Caractéristiques pédologiques	Humus (forme, contenu), calcaire, granulométrie, pierrosité	-Appréciation de l'échantillon sur le terrain, en vue de l'interprétation ultérieure des résultats d'analyse (p. ex. anomalie statistique)
89 Etat de l'échantillon	Humidité, intégrité	-Influence de l'humidité sur l'intégrité de l'échantillon (p. ex. dans le Pürckhauer) -Influence du type d'instrument utilisé par le prélèvement (☞ chap. 6.7) -Appréciation de la qualité de l'échantillon, en vue de l'appréciation et de l'interprétation ultérieure des résultats d'analyse (p. ex. anomalie statistique)
810 Informations complémentaire		-Enregistrement d'autres informations concernant l'échantillon (p. ex. présence de déchets)
811 Légende de la fiche		-Instructions pour remplir la fiche

En gras: données minimales

9 Date et signature

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
91 Date et signature	Par l'opérateur responsable	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2)

En gras: données minimales

Fiche "Préparation des échantillons" (Ann. 5-2)

Jointe à chaque fiche "Prélèvement" (Ann. 5-1) ou à chaque fiche complémentaire "Echantillonnage ultérieur" (Ann. 5-4).

1 Identification

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
11 Projet	Désignation, respectivement n°. du projet et de la station / parcelle, date du prélèvement, opérateur	-Documentation (système d'assurance de la qualité (☞ chap. 2.2) -Traçabilité (système d'assurance de la qualité (☞ chap. 2.2)
12 Collaborateur	Nom, date (réception des échantillons, début et fin de la préparation)	

En gras: données minimales

2 Préparation de l'échantillon

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
21 Désignation de l'échantillon	Numéro conforme au bulletin de livraison et à la fiche "Prélèvement"	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2)
22 Poids brut humide	Poids de l'échantillon dans son état naturel	-Interprétation des résultats
23 Poids brut sec	Poids de l'échantillon séché	-Interprétation des résultats
24 Tare	Poids du récipient utilisé pour le séchage	-Interprétation des résultats
25 Teneur en eau (g)	Différence entre le poids brut humide et le poids brut sec	-Interprétation des résultats
26 Teneur en eau (%)	Poids relatif de l'eau en %	-Interprétation des résultats
27 Température de séchage	Température dans le four	-Respect des prescriptions pour la préparation des échantillons (☞ chap. 7)
28 Durée de séchage	Durée du processus de séchage	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2, 7)
29 Durée d'entreposage	Durée d'un entreposage éventuel précédant la préparation	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2 et 7)
210 Broyage	Appareil d'émottage (nature du matériel)	-Appréciation du risque de contamination
211 Maille du tamis	Maille du tamis	-Respect des prescriptions pour la préparation des échantillons (☞ chap. 7)
212 Nature du tamis	Nature du matériel	-Appréciation du risque de contamination
213 Poids du refus de tamisage	Poids du refus de tamisage	-Interprétation des résultats (p. ex. concernant le pierrosité)
214 Poids de la partie fine	Poids du matériel fin ayant traversé le tamis	-Interprétation des teneurs mesurées (rapportées à la partie fine)
215 Nombre de portions	Nombre de portion après partage	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2)

En gras: données minimales

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
216 Mode de partage	Diviseur à couloirs ouvert ou fermé, diviseur rotatif, etc.	-Appréciation de la représentativité (origine des erreurs) et du risque de contamination
217 Récipient	Nature du matériel	-Appréciation du risque de contamination
218 Remarques	Autres informations	-Légende

En gras: données minimales

3 Date et signature

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
31 Date et signature	Par l'opérateur responsable	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2)

En gras: données minimales

Fiche complémentaire "**Profil pédologique**" (Ann. 5-3)

Pour l'enregistrement de données pédologiques en complément de la fiche "**Prélèvement**" (Ann. 5-1).

La description des profils pédologiques se fait d'après *FAL (1997)* pour les sols agricoles et d'après *OFEFP (1996)* pour les sols forestiers, tandis que la classification se base sur *FAL (2002) / BGS (2002)*.

1 Identification

Les principales informations concernant l'identification et la localisation de la placette (croquis de situation) se trouvent dans la fiche "**Prélèvement**".

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
11 Projet	Désignation, respectivement n° du projet et de la station/ parcelle, date, opérateur (entreprise, nom, adresse)	-Assurance de la qualité (<i>chap. 2.2</i>)
12 Emplacement	Renvoi à la fiche "Prélèvement"	-Traçabilité: ces informations figurent dans la fiche " Prélèvement "
13 Situation / croquis de situation	Renvoi à la fiche "Prélèvement"	-Traçabilité: ces informations figurent dans la fiche " Prélèvement "

En gras: données minimales

2 Topographie et géologie

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
21 Coupe	Schéma de la topographie et de la géologie (coupe verticale)	-Appréciation des teneurs de fond et de la pédogenèse (<i>Ann. 3</i>)

3 Classification des sols

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
31 Classification des sols	Types de sol, sous-types, classification selon <i>FAL (2002) / BGS (2002)</i>	-Appréciation de la pédogenèse, de la distribution verticale des polluants, des processus biogéochimiques; évaluation des risques (potentiel de migration des polluants) -Classification uniforme pour l'ensemble du territoire suisse

En gras: données minimales

4 Profil

Un manuel pour l'établissement de profils schématiques se trouve dans l'ouvrage *FAL 1997*; légende au verso de la fiche complémentaire "*Profil pédologique*").

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
41 Profil schématique	<ul style="list-style-type: none"> - Horizons, profondeurs en cm (limites d'horizon), désignation (suivant légende) - Profil schématique avec signes conventionnels - Description du profil: structure, vides, densité, nature du sol, humus, pierrosité, test à HCl, pH (réactif Hellige), hydromorphie, couleur selon le code Munsell (cf. légende) - Remarque/numéros des échantillons 	<ul style="list-style-type: none"> -Classification du sol, appréciation des teneurs de fond et de la distribution naturelle des polluants -Indications au sujet de la classification du sol, appréciation des teneurs de fond et de la distribution naturelle des polluants, anomalies (p. ex. présence de déchets)
42 Légende	Signes conventionnels	<ul style="list-style-type: none"> -Documentation, traçabilité -Les échantillons sont en outre enregistrés sur la fiche "<i>Prélèvement</i>" n°. 8.

En gras: données minimales

5 Date et signature

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
51 Date et signature	Par l'opérateur responsables	-Assurance de la qualité (documentation et responsabilité)

En gras: données minimales

Fiche "Echantillonnage ultérieur" (Ann. 5-4)

Pour l'enregistrement d'échantillons dans le cadre d'étude à long terme. L'échantillonnage initial est inscrit sur la fiche "**Prélèvement**" (Ann. 5-1).

1 Identification

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
11 Projet	Désignation du projet et de la station/parcelle, date, opérateur	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2)
12 Emplacement	Commune, localité, canton, lieu-dit, coordonnées, altitude, n°. C.N., n°. registre foncier	-Repérage de la placette de prélèvement
13 Contacts	Propriétaire, exploitant, personne concernée, opérateur (adresse, téléphone)	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2)

En gras: données minimales

2 Changements

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
21 Croquis de situation avec les changements	Complément à la fiche "Prélèvement" n°. 21, pour signaler les changements	-Repérage lors des prélèvements ultérieurs réalisés dans le cadre d'études à long terme (☞ chap. 5) -Risque de disparition des points fixes (☞ chap. 6.10) -Changement dans la situation: p. ex. marquage ultérieur avec des aimants (☞ chap. 6.10), points fixes supplémentaires, etc.
22 Légende	Signes conventionnels, points fixes, point de repère	
23 Changement de l'occupation du sol	Complément à la fiche "Prélèvement" n°. 41, pour signaler les changements	-Documentation -Appréciation et interprétation
24 Changement de la couverture végétale	Complément à la fiche "Prélèvement" n°. 43, pour signaler les changements	-Indication de dommages éventuels provoqués par les polluants (croissance de la végétation, dégradation de la couche d'humus) -Observation de changements
25 Informations complémentaires	Remarques, description	-Relevé d'autres changements (p. ex. aplanissement de la surface du sol par l'agriculteur, apport de matériel extérieur avec indication de provenance)

En gras: données minimales

3 Prélèvement

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
31 Dispositif de prélèvement	Schéma	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2)
32 Conditions météorologiques pendant le prélèvement	Temps sec, pluie, neige (y compris jours précédents)	-Appréciation de la qualité du prélèvement (☞ chap. 6.5)
33 Informations complémentaires	Description	-Enregistrement d'autres informations concernant le prélèvement (p. ex. "Sol très sec, une partie des prélèvements restent incomplets")
34 Etat du sol	Sec, humide, gorgé d'eau, gelé	-Appréciation de la qualité du prélèvement (☞ chap. 6.5)
35 Mesures de sécurité	Oui, non. Dans l'affirmative: lesquelles?	-Documentation au sujet des mesures nécessaires prises (☞ chap. 6.2)
36 Informations complémentaires	Description	-Enregistrement d'autres informations concernant le prélèvement (p. ex. "Les prélèvements n'ont pas pu être effectués comme prévus, en raison de la forte résistance du sol à la pénétration")
37 Transport de l'échantillon	Réfrigéré/non réfrigéré, durée du transport (jours)	-Stabilité des échantillons

En gras: données minimales

4 Données concernant l'échantillon

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
41 Désignation de l'échantillon	Numéro d'identification	-Traçabilité -Elimination du risque de confusion
42 Horizon du sol	Classification selon <i>FAL (2002)</i> / <i>BGS (2002)</i>	-Traçabilité -Importance pour les analyses pédologiques (comparaison entre horizons et profondeurs)
43 Profondeur de prélèvement	Indication de la profondeur de ... à ... (cm), avec/sans couche d'humus (cm)	-Traçabilité, exécution conforme au plan d'échantillonnage -Définition de la profondeur 0 cm (☞ chap. 3.4.5) -Appréciation et interprétation
44 Type d'échantillon	Echantillon représentatif de surfaces ou de transects, en fosse, en sondage, échantillon non remanié	-Traçabilité, exécution conforme au plan d'échantillonnage (☞ chap. 3.4) -Appréciation et interprétation
45 Nombre d'échantillons simples	Nombre	-Traçabilité, constitution de l'échantillon composé (☞ chap. 3.4.4) -Appréciation de la représentativité
46 Instrument de prélèvement	Gouge manuelle, Edelman, Riverside, Humax, autre (diamètre)	-Traçabilité -Assurance de la qualité: utilisation de l'instrument approprié (☞ chap. 6.7)

En gras: données minimales

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
47 Emballage	Plastique, feuille d'aluminium, verre, autres	-Appréciation du risque de contamination (☞ chap. 6.11)
48 Caractéristiques pédologiques	Humus (forme, contenu), teneur en calcaire, granulométrie de la partie fine, pierrosité	-Appréciation de l'échantillon sur le terrain, en vue de l'appréciation et de l'interprétation ultérieures des résultats d'analyse (p. ex. anomalie statistique)
49 Etat de l'échantillon	Humidité, intégrité	-Influence de l'humidité sur l'intégrité de l'échantillon (p. ex. dans le Pürckhauer) -Influence du type d'instrument utilisé pour le prélèvement (☞ chap. 6.7) -Appréciation de la qualité de l'échantillon, en vue de l'interprétation ultérieures des résultats d'analyse (p. ex. anomalie statistique)
410 Informations complémentaires		-Enregistrement d'autres informations concernant l'échantillon (p. ex. présence de déchets)
411 Légende		-Instructions pour remplir la fiche

En gras: données minimales

5 Date et signature

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
51 Date et signature	Par l'opérateur responsable	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2)

En gras: données minimales

Fiche complémentaire "Agriculture" (Ann. 5-5)

Pour l'enregistrement de données concernant l'utilisation agricole des sols, en complément à la fiche "Prélèvement" (Ann. 5-1).

1 Identification

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
11 Projet	Désignation, respectivement n° du projet et de la station/-parcelle, date, opérateur	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2)
12 Emplacement	Cf. n°. 12 de la fiche "Prélèvement"	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2): ces informations sont enregistrées dans la fiche "Prélèvement".
13 Contacts	Cf. n°. 13 de la fiche "Prélèvement"	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2): ces informations sont enregistrées dans la fiche "Prélèvement".

En gras: données minimales

2 Données générales concernant l'exploitation

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
21 Type d'agriculture	Biologique, prestations écologiques requises (PER), conventionnelle	-Données de base disponibles (type de comptabilité), interprétation des atteintes à la couche supérieure du sol, suivant la forme de production
22 Subdivision en zone	Zone des grandes cultures, zone intermédiaire élargie, zone intermédiaire, zone des collines, zones 1-4 de la région de montagne	-Interprétation des atteintes à la couche supérieure du sol suivant la délimitation des zones
23 Surfaces exploitées	Surface agricole utile, surface d'épandage, surface en terres assolées (ha)	-Interprétation des atteintes à la couche supérieure du sol suivant le type d'exploitation -Ces informations figurent dans le bilan global des engrais de l'exploitation
24 Exploitant	Période durant laquelle le sol a été travaillé par le même exploitant	-Appréciation de la continuité, influence des modes d'exploitation antérieurs

3 Occupation du sol

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
31 Prairie permanente et pâturages	Prairie de fauche, pâturage, prairie utilisée en fauche-pâturage (nombre d'utilisation par pacage/fauche)	-Interprétation des atteintes à la couche supérieure du sol par les engrais et les pesticides, suivant l'occupation du sol -Une partie de ces informations figure dans le bilan global des engrais de l'exploitation
32 Terres assolées	Assolement (culture/s; année)	
33 Arboriculture	Pommes, poires, pruneaux, cerises, autre	
34 Cultures maraîchères	Légumes frais, légumes pour conserves	
35 Vignes	Durée de l'exploitation, âge des cepes	

4 Cheptel

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
41 Unités de gros bétail-fumure (UGBF)	UGBF total et part des porcs	-Interprétation des atteintes à la couche supérieure du sol en fonction de la teneur en polluants et de l'intensité de l'exploitation (UGBF par surface, animaux par surface) -Ces informations figurent dans le bilan global des engrais de l'exploitation -Caractérisation des engrais de ferme selon les données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (<i>RAC 2001</i>), voir également n°. 5 " <i>Engrais ne provenant pas de l'exploitation</i> "
42 Cheptel	Porcs, bovins, chevaux, petits ruminants, volailles, autre (nombre)	
43 Engrais de ferme	Type, quantités (remise/reprise)	

5 Engrais ne provenant pas de l'exploitation

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
51 Engrais phosphatés minéraux	Nom du produit, fabricant	-Spectre des polluants possibles
52 Engrais de recyclages	Boues d'épuration, compost, autres (quantités/année, origine)	-Interprétation des atteintes à la couche supérieure du sol en fonction des engrais de recyclage (source de pollution externe) -Caractérisation des engrais de ferme selon les données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (<i>RAC 2001</i>) -Une partie de ces informations figure dans le bilan global des engrais de l'exploitation
53 Informations complémentaires	Remarques, descriptions	P. ex.: -Intensité des apports d'engrais -Répartition des apports d'engrais

6 Produits phytosanitaires

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
61 Produits phytosanitaires	Nom du produit, fabricant, quantités, distribution/réception	-Spectre des polluants -Interprétation des atteintes à la couche supérieure du sol en fonction des substances (source de pollution externe)
62 Informations complémentaires	Remarques, descriptions	P. ex.: -Intensité des apports -Répartition des apports

7 Date et signature

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
51 Date et signature	Par l'opérateur responsable	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2)

En gras: données minimales

Fiche complémentaire "Sylviculture" (Ann. 5-6)

Pour l'enregistrement de données concernant la sylviculture, en complément à la fiche "Prélèvement" (Ann. 5-1).

1 Identification

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
11 Projet	Désignation, respectivement n° du projet et de la station / parcelle, date, opérateur	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2)
12 Emplacement	Cf. n° 12 fiche "Prélèvement"	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2): ces information sont enregistrées dans la fiche "Prélèvement".
13 Contacts	Cf. n° 13 fiche "Prélèvement", au surplus le forestier	

En gras: données minimales

2 Données concernant l'exploitation

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
21 Type d'exploitation	Futaie, taillis sous futaie, taillis	-Interprétation des atteintes par des polluants suivant le type d'exploitation
22 Forme d'exploitation	Coupe progressive, par bandes, rase, jardinière	

3 Effectif

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
31 Nature du peuplement	Forêt de résineux, forêt mixte, forêt de feuillus	-Interprétation des atteintes par des polluants suivant la nature de l'effectif
32 Degré de couverture	Rapport entre la projection de la surface de la couronne et de la surface total (%)	
33 Stade de développement	Recrû, perchis, troncs de taille faible, moyenne ou forte, mélange	
34 Structure du peuplement	Monocouche, étagé, pluricouche (hauteur des couches)	
35 Hauteur	Hauteur moyenne des 100 arbres les plus grands à l'hectare	
36 Age	Age moyen (années)	
37 Informations complémentaires	Remarques, descriptions	

4 Date et signature

Quoi?	Comment?	Pourquoi?
41 Date et signature	Par l'opérateur responsable	-Assurance de la qualité (☞ chap. 2.2)

En gras: données minimales

9 Références bibliographiques

- Aichberger K. et al, 1985, Soil sampling for trace element analysis and its statistical evaluation, *in*: Gomez A., R.Leschber, P.L.Hermite (eds.), Sampling problems for the chemical analysis of sludge, soils and plants, 38–44, Elsevier Applied Science Publishers, London.
- Anghern-Bettinazzi C., 1989, Das Verhalten von Schwermetallen in der Streuauflage von Waldstandorten, 157 p., Diss. Universität Zürich.
- ASTM, 1996, Standard Practice for Environmental Site Assessments: Transaction Screen Process, E1528-96 (Annual Book of ASTM Standards), American Society for Testing and Materials.
- ASTM, 1997, Standard Practice for Environmental Site Assessments: Phase I Environmental Site Assessment Process, E1527-97 (Annual Book of ASTM Standards), American Society for Testing and Materials.
- Barth N. et al, 2000, Boden-Dauerbeobachtung: Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen, *in*: Rosenkranz D., Bachmann G., König W., Einsele G., Bodenschutz, Kennzahl n°. 9152, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Bayerische Staatsministerien für Landesentwicklung und Umweltfragen und für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 1990, Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern: Standortauswahl, Einrichtung, Probenahme, Analytik, 44 p., München.
- Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 1997, Probenahme von Böden und Substraten zur Erfassung des Bodenzustandes und Untersuchung kontaminierter Standorte, 77 p., Umwelt & Entwicklung Materialien, Nr. 129, München.
- Benitez Vasquez N., 1999, Cadmium speciation and phyto-availability in soils of the Swiss Jura: hypothesis about its dynamics. These n°. 2066, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Berndt G.F., 1988, Effect of drying and storage conditions upon extractable soil manganese, *J.Sci.Food Agric.* 45, 119–130.
- Black S.C., 1988, Defining control sites and blank sample needs, *in*: Keith L.H. (ed), Principles of Environmental Sampling, American Chemical Society, 110–117, Washington.
- Blum W.E.H. et al 1996, Bodendauerbeobachtung, Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft, Umweltbundesamt und Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, 101 p., Wien.
- Borgman L.E., Quimby W.F., 1988, Sampling for tests of hypothesis when data are correlated in space and time, *in*: Keith L.H. (ed.), Principles of environmental sampling American Chemical Society, 2, 25–43.
- Bunge R., Bunge K., 1999, Probenahme auf Altlasten: Minimal notwendige Probenmasse, 3, Altlasten Spektrum, 174–179.
- Dalton R. et al, 1975, Sampling techniques in geography, 95 p., Georg Philip and Son Ltd, London.
- Desaules A., Dahinden R., 2000, Zum Einfluss von Trocknungstemperatur und Kunststoff-Kontakt auf PAK- und PCB-Analysen in Bodenproben bei Routineuntersuchungen, 34 p., NABO/FAL-Reckenholz.
- Desaules A., Dahinden R., 1996, Schlüssel zur Identifikation gesteinsbedingter Richtwertüberschreitungen, OFEFP, L'environnement pratique, 26 p., Berne.
- Desaules A., 1995, Complément d'information aux Directives pour le prélèvement d'échantillons de sols et l'analyse de substances polluantes, 2 p.
- Desaules A., Dahinden R., 1994, Die Vergleichbarkeit von Schwermetallanalysen in Bodenproben von Dauerbeobachtungsflächen – Ergebnisse eines Probenahmeringversuchs, 26 p., FAC-Liebefeld.
- Desaules A., 1989, Die Erfassung und Beurteilung der Schwermetallkontamination bei der Verwendung von Stahlgeräten für die Entnahme und Aufbereitung von Bodenproben, *Bull.Bodenkundl.Ges.Schweiz*, 13, 93–96.
- EURACHEM/CITAC Guide, 2000, Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, 120 p., Laboratory of the Government Chemist, London (second edition).
- Fachstelle Bodenschutz Kanton Zürich, 1999, Anleitung zur Probenvorbereitung und Archivierung (Standard-Arbeitsanweisung Labor), 8 p., Volkswirtschaftsdirektion Kanton Zürich.
- FAL, 2002, Klassifikation der Böden der Schweiz, 87 p. (2. Auflage).
- FAL, 1998, Methodenbuch für Boden-, Pflanzen- und Lysimeterwasser-Untersuchungen, Schriftenreihe FAL Nr. 27, Zürich-Reckenholz.
- FAL, 1997, Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden, Schriftenreihe FAL Nr. 24, Zürich-Reckenholz.
- FAL, FAW, RAC, 1995, Referenzmethoden der Eidg. landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, Band 3: Bodenuntersuchung zur Beurteilung der Schadstoffe, Zürich-Reckenholz.

- Federer C.A., 1982, Subjectivity in the separation of organic horizons of the forest floor, *Soil Sci.Soc.Am.J.* 46, 1090–1093.
- Federer P. et al, 1989, Wie repräsentativ sind Bodenanalysen?, *Landwirt.Schweiz*, 6, 363–367.
- Garner F.C. et al, 1988, Composite sampling for environmental monitoring, *in: Keith L.H. (ed.), Principles of Environmental Sampling*, 25, 363–374, American Chemical Society.
- Gy P.M., 1991, Sampling, The foundation-block of analysis, *Mikrochimica Acta*, 2, 457–466.
- Harvey D., 1973, *Explanation in Geography*, Edward Arnold Ltd, 503 p., London.
- Houba V.J.G. et al, 1994, Aspects of pre-treatment of soils for inorganic chemical analysis, *Quimica Analitica*, 13, 94–99.
- Houba V.J.G. et al, 1993, Influence of grinding of soil on apparent chemical composition, *Commun.Soil Sci.Plant Anal.*, 24, 1591–1602.
- Huesemann M.H., 1994, Guidelines for the development of effective statistical soil sampling strategies for environmental applications, *in: Calabrese E.J. und P.T.Kostecki (ed.), Hydrocarbon Contaminated Soils and Groundwater*, 4, 47–96, Association for the Environmental Health of Soils, Massachusetts.
- Isaaks E.H., Srivastava R.M., 1989, *An introduction to applied geostatistics*, 561 p., Oxford University Press.
- ISO, 2002a, Soil quality – Sampling, part 2: Guidance on sampling techniques (ISO/DIS 10381-2), Deutsches Institut für Normung e.V., 48 p., Beuth Verlag, Berlin.
- ISO, 2002b, Soil quality – Sampling, part 3: Guidance on safety (ISO/DIS 10381-3), Deutsches Institut für Normung e.V., 49 p., Beuth Verlag, Berlin.
- ISO, 2002c, Soil quality – Sampling, part 5: Guidance on the procedure for investigation of urban and industrial sites with regard to soil contamination (ISO/DIS 10381-5), Deutsches Institut für Normung e.V., 24 p., Beuth Verlag, Berlin.
- ISO, 2000, *Systèmes de management de la qualité – principes et vocabulaire, ISO 9000*.
- ISO, 1996a, Soil quality – Pretreatment of samples for the determination of organic contaminants (ISO/DIS 14507), Deutsches Institut für Normung e.V., 17 p., Beuth Verlag, Berlin.
- ISO, 1996b, Soil quality – Pretreatment of samples for physico-chemical analyses (ISO/DIS 11464), International Organization for Standardization, 9 p., Beuth Verlag, Berlin.
- ISO, 1995a, Soil quality – Sampling, part 1: Guidance on the design of sampling programmes (ISO/DIS 10381-1), Deutsches Institut für Normung e.V., 44 p., Beuth Verlag, Berlin.
- ISO, 1995b, Soil quality – Sampling, part 4: Guidance on the procedure for investigation of natural, near natural and cultivated sites (ISO/DIS 10381-4), Deutsches Institut für Normung e.V., 24 p., Beuth Verlag, Berlin.
- Jansky H.-J., Fischer H., 1997, Die Probenvorbereitung als eine Quelle der Ergebnisunsicherheit von Schadstoffbestimmungen in Bodenproben, *TerraTech*, 6, 35–39.
- Keith L.H (ed.), 1988, *Principles of Environmental Sampling*, American Chem. Society, 458 p., Washington DC.
- Keith L.H., 1990, Environmental sampling: a summary, *Envir.Sci.Tech.* 24, 610–617.
- Keller A., 2000, Assessment of uncertainty in modelling heavy metal balances of regional agroecosystems, dissertation n°. 13944, Institut für Terrestrische Ökologie, ETH Zürich.
- Keller Th., Desaulles A., 2001, Kartiergrundlagen zur Bestimmung der Bodenempfindlichkeit gegenüber anorganischen Schadstoffeinträgen in der Schweiz, 81 p., FAL Zürich-Reckenholz.
- Lamé F.P.J., Bosman R., 1994, Protokoll für die nähere Untersuchung, Ministerium für Wohnungswesen, Raumordnung und Umweltschutz der Niederlande.
- LBP, 1997, Boden-Dauerbeobachtungsflächen – Bericht nach 10jähriger Laufzeit 1985–1995, Schriftenreihe LBP Nr. 5, Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP), München.
- Lepretre A., Martin S., 1994, Sampling strategy of soil quality, *Analisis Magazine*, 22, 40–43.
- LPE, 1983, Loi fédérale du 7 octobre 1983 sur la protection de l'environnement (Loi sur la protection de l'environnement), RS 814.01.
- Meiler H. et al, Überprüfung von Methoden des Anhangs 1 der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BbodSchV) zur Beurteilung der Bodenqualität, Forschungsbericht Nr. 201 74 240 Umweltbundesamt Berlin, 235 p. (Juni 2003).
- Menzi H., Kessler J., 1998, Heavy Metal Content of Manure in Switzerland, *in: Martinez J. (ed.), "Proc. of the FAO-Network on Recycling Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAN 98)"*, Rennes, France.
- Moolenaar S.W., 1998, Sustainable Management of Heavy Metals in Agro-ecosystems, PhD Thesis, Agricultural University of Wageningen, The Netherlands.

- Moolenaar S.W., Lexmond T.M., 1998, Heavy-metal balances of agro-ecosystems in the Netherlands, Netherlands J. Agric. Sci., 46, 171–192.
- Nothbaum N., Scholz R.W., May T.W., 1994, Probenplanung und Datenanalyse bei kontaminierten Böden, 164 p., Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- OFAG, 2001, Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (DBF 2001), Revue suisse d'agric., 33, n° 3, 80 p. (mai-juin 2001).
- OFAG, OFEFP, 1994, Instructions pratiques pour la protection des eaux dans l'agriculture (concernant les engrais de ferme), 132 p., Berne.
- OFCL, 2002, "Produits phytosanitaires – Index 2002" (n° 730.556f; *actualisation annuelle*), Office fédéral des constructions et de la logistique (OFCL), Vente des publications, 3003 Berne.
- OFEFP, 2003, Instructions, Analyse des biphényles polychlorés dans les sols par GC/MS – méthode recommandée, L'environnement pratique, 26 p., Berne.
- OFEFP, 2001a, Evaluation et utilisation de matériaux terreux (Instructions matériaux terreux), L'environnement pratique, 31 p., Berne.
- OFEFP, 2001b, Commentaires concernant l'ordonnance du 1^{er} juillet 1998 sur les atteintes protégées aux sols (OSol), L'environnement pratique, 31 p., Berne.
- OFEFP, 2001c, Instructions, Analyse des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les sols par GC/MS – méthode recommandée, L'environnement pratique, 27 p., Berne.
- OFEFP, 2001d, Guidelines, Determination of Polychlorinated Dioxins and Furans in Soil – Method Recommendation, L'environnement in pratique, Berne, 44 p. (March 2001).
- OFEFP, 2000a, Instructions, Système d'assurance de la qualité, analyse des PAH, des PCB et des dioxines dans les sols, L'environnement pratique, 27 p., Berne.
- OFEFP, 2000b, Méthodes d'analyse pour échantillons solides et aqueux provenant de sites pollués et de matériaux d'excavation – sites contaminés et déchets, L'environnement pratique, 53 p., Berne.
- OFEFP, 2000c, Cahier des charges pour l'investigation technique des sites pollués – sites contaminés/estimation de la mise en danger, L'environnement pratique, 24 p., Berne.
- OFEFP, 2000d, Directive pour la lixiviation en colonne de matériaux de sites pollués, selon l'ordonnance sur les sites contaminés – sites contaminés/estimation de la mise en danger, L'environnement pratique, 27 p., Berne.
- OFEFP, 2000e, Réseau national d'observation des sols NABO, variations des teneurs en polluants après 5 et 10 ans de suivi – périodes de mesures 1985–1991 et 1992–1997, Cahier de l'environnement n° 320, 129 p., Berne.
- OFEFP, 2000f, NABEL, La pollution de l'aire 1999, mesures exécutées à l'aide du Réseau national d'observation des polluants atmosphériques, Cahier de l'environnement no. 316, 195 p., Berne.
- OFEFP, 1998, Prélèvement d'échantillons et d'analyse d'air interstitiel, sites contaminés – estimation de la mise en danger, 21 p., Berne.
- OFEFP, 1996, Manuel cartographie des sols forestiers, 123 p., Berne.
- OFEFP, 1996, Mögliche Quellen und Pfade für Schadstoffeinträge in Böden, L'environnement pratique, 13 p., Berne.
- OFEFP, 1994, Regional soil contamination surveying, A: technical note, B: case study, Environmental Documentation n° 25, Soil, 70 p., Berne.
- OFEFP, 1993, Réseau national d'observation des sols, présentation du réseau et premiers résultats, période d'observation 1985–1991, Cahier de l'environnement no. 200, 175 p., Berne.
- OFEFP, FAC, 1989, Informations n° 3 concernant la protection des sols et l'ordonnance sur les polluants du sol (OSol), chapitres sur l'expériences faites avec les directives sur le prélèvement des échantillons et sur la modifications apportées aux directives, 8 p., Berne.
- OFEFP, FAC, 1987, Directives pour le prélèvement d'échantillons de sols et l'analyse de substances polluantes, 24 p., Berne.
- OFEFP, Wegleitung Probenahme von Feststoffen auf belasteten Standorten, Berne.
- OFEFP, Wegleitung zur Gefährdungsabschätzung bei schadstoffbelasteten Böden, Berne.
- OSites, 1998, Ordonnance fédérale du 26 août 1998 sur l'assainissement des sites pollués (Ordonnance sur les sites contaminés), RS 814.680.
- OSol, 1998, Ordonnance fédérale du 1^{er} juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols, RS 814.12.
- OSol, 1986, Ordonnance fédérale du 9 juin 1986 sur les polluants du sol (abrogée), AS 1986 1147.
- OTD, 1990, Ordonnance fédérale du 10 décembre 1990 sur le traitement des déchets, RS 814.600.

- Ramsey M.H., 1997, Measurement uncertainty arising from sampling: implication for the objectives of geo-analysis, *Analyst*, 122, 1255–1260.
- Reiner I. et al, 1996, Stoffbilanzen landwirtschaftlicher Böden von ausgewählten Betriebstypen bei Verwendung von Klärschlamm und Kompost, BKK2 – Endbericht, TU Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft (AWS), Wien.
- Rohlf F.J. et al, 1996, Optimizing composite sampling protocols, *Envir.Sci.Tech.* 30, 2899–2905.
- Rubio R., Vidal M., 1995, Quality assurance of sampling and sample pretreatment for trace metal determination in soils, *in*: Quevauviller P. (ed.), *Quality Assurance in Environmental Monitoring: Sampling and Sample Pretreatment*, 7, 157–178, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 1998, Probenahme bei der technischen Erkundung von Altlasten, 87 p., Materialien zur Altlastenbehandlung, Nr. 3, Dresden.
- Schulz R. et al, 1996, Einfluss der Probenahmetechnik auf die Ergebnisse von Bodenuntersuchungen zur Tiefenverlagerung von Schwermetallen nach langjähriger Klärschlammdüngung, *Agribiol.Res.* 49, 113–119.
- Schütze, G., Nagel H.D., 1998, Kriterien für die Erarbeitung von Immissionsminderungszielen zum Schutz der Böden und Abschätzung der langfristigen räumlichen Auswirkungen anthropogener Stoffeinträge, *Umweltbundesamts-Texte*, Nr. 19, Forschungsbericht 204 02 82, Berlin.
- Schwab P. et al, 2002, Einflüsse der Probentrocknung auf Quecksilberkonzentrationen in Bodenproben, *BGS-Bulletin* Nr. 26.
- Smith F., et al, 1988, Evaluating and presenting quality assurance sampling data, *in*: Keith L.H. (ed.), *Principles of Environmental Sampling*, 10, 157–168, American Chem. Society.
- Squire S. et al, 2000, Sampling proficiency test for the estimation of uncertainty in the spatial delineation of contamination, *Analyst*, 125, 2026–2031.
- SSP, 2002, Clé de classification des sols de Suisse, Société suisse de la pédologie, Groupe de travail Classification des sols, 11 p. (2^{ème} édition).
- Thompson M., Ramsey M.H., 1995, Quality concepts and practices applied to sampling – an exploratory study, *Analyst*, 120, 261–270.
- Tiktak A. et al, 1998, Modelling cadmium accumulation on a regional scale in the Netherlands, *Nutrient Cycling Agroecosyst.*, 50, 209–222.
- Tuchs Schmid M.P., 1995, Quantifizierung und Regionalisierung von Schwermetall- und Fluorgehalten bodenbildender Gesteine der Schweiz, OFEFP Document environnement n^o. 32 – Boden, 111 p., Berne.
- Van der Zee S.E.A.T.M., de Haan F.A.M., 1998, Monitoring, control and remediation of soil degradation by agrochemicals, sewage sludge and composed municipal wastes, *Adv. GeoEcology*, 31, 607–614.
- VEGAS, Landesanstalt für Umweltschutz, 1999a, Einführung in die Probenahme bei Fragen des Bodenschutzes (Lehrgang V für Probennehmer), Analytische Qualitätssicherung Baden-Württemberg, VEGAS Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung und Landesanstalt für Umweltschutz, Stuttgart und Karlsruhe.
- VEGAS, Landesanstalt für Umweltschutz, 1999b, Probenahme von Böden bei Altlasten (Lehrgang IV für Probennehmer), Analytische Qualitätssicherung Baden-Württemberg, VEGAS Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung und Landesanstalt für Umweltschutz, Stuttgart und Karlsruhe.
- Von Steiger B., Baccini P., 1990, Regionale Stoffbilanzierung von landwirtschaftlichen Böden mit messbarem Ein- und Austrag, Nationales Forschungsprogramm 22, Boden, Bericht Nr. 38.
- Von Steiger B., Obrist J., 1993, Available databases for regional mass balances in agricultural land, *in*: R. Schulin, A. Desaules, R. Webster and B. v. Steiger (ed.), *Soil Monitoring – Early Detection and Surveying of Soil Contamination and Degradation*, Birkhäuser Verlag Basel, 35–46.
- Wagner G., Quevauviller Ph., Desaules A., Muntau H., Theocharopoulos S. (ed.), 2001, Comparative evaluation of European methods for sampling and sample preparation of soils, *Sci. Total Environm.*, 264, nos. 1–2, 204 p.
- Webster R., Oliver M., 2001, *Geostatistics for Environmental Scientists*, 271 p., John Wiley & Sons, New York.
- Woede G., 1999, Probenahmeraster für Bodenuntersuchungen, *Bodenschutz*, 4, 147–151.

Annexes

- Annexe 1:** Check-list "*Qualité*"
- Annexe 2:** Identification de pollutions potentielles
- Annexe 3:** Dépassements naturels des teneurs de fond
- Annexe 4:** Relevé des données nécessaires à l'établissement du bilan des substances pour les surfaces agricoles
- Annexe 5:** Fiches

Annexe 1 Check-list "Qualité"

Projet
Désignation du projet
N°. du projet.....

Questions et objectifs <i>☞</i> chapitre 3.1	OUI	NON
Les questions sont-elles posées de manière explicite? Documentation:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....		
Ont-elles été discutées avec le mandant? Date de l'entretien:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....		
Les questions et les objectifs sont-ils fixés de manière explicite? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....		

Enquête préalable <i>☞</i> chapitre 3.2	OUI	NON
Zone d'étude		
La taille et les limites de la zone d'étude sont-elles définies de manière suffisamment précise? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....		
Historique		
Les utilisations anciennes de la zone d'étude sont-elles reconstituées avec suffisamment de précision? Motif, documentation:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....		
Hypothèses de travail		
La recherche d'information est-elle complète, eu égard aux questions posées? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....		
Les documents récoltés sont-ils sûrs? Motif (en cas d'incertitude partielle):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....		
Toutes les consultations nécessaires et possibles ont-elles été effectuées? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....		
Les réponses reçues sont-elles plausibles? Motif (en cas d'incertitude):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....		
Les hypothèses de travail sont-elles suffisamment précises, pour élaborer le plan d'échantillonnage? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....		
D'autres hypothèses de travail sont-elles exclues? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
.....		

Connaissance des lieux		
Une visite de terrain a-t-elle eu lieu? Date, motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les facteurs locaux, susceptibles d'influencer la planification du prélèvement, ont-ils été suffisamment pris en compte? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
La connaissance des lieux permet-elle d'organiser et d'exécuter le prélèvement? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les mesures de sécurité à prendre lors du prélèvement sont-elles définies? Documentation:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Programme d'étude <i>☞ chapitre 3.3</i>	OUI	NON
La limite de résolution nécessaire est-elle fixée? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Le programme d'analyse est-il fixé? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Des études complémentaires sont-elles nécessaires? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
L'ampleur des études justifie-t-elle un travail par étapes? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Plan d'échantillonnage <i>☞ chapitre 3.4</i>	OUI	NON
Dispositif de prélèvement		
Le dispositif de prélèvement (répartition et nombre d'échantillons) correspond-il à la limite de résolution nécessaire? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Le dispositif de prélèvement choisie peut-il fournir une image représentative de la pollution? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D'autres dispositifs de prélèvement ont-ils été examinés? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Une mauvaise hypothèse de travail peut-elle influencer les résultats? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
La manière de définir des sites de remplacement est-elle fixée? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Type d'échantillons		
Les types nécessaires d'échantillons sont-ils fixés? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Echantillon composé		
La constitution de l'échantillon composé est-elle fixée (nombre et répartition des échantillons simples)? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Un échantillon représentatif peut-il être constitué de cette manière? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Profondeurs de prélèvement		
Les profondeurs de prélèvement sont-elles fixées? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Echantillonnage de la couche supérieure du sol		
Les conditions préalables fixées par l'OSol sont-elles respectées? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les profondeurs de prélèvement choisies permettent-elles de répondre aux questions posées? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Echantillonnage du sous-sol		
La profondeur de prélèvement du sous-sol est-elle fixée? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
L'échantillonnage à profondeurs fixes ou par horizons est-il approprié? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Quantités à prélever		
Les quantités à prélever sont-elles fixées en tenant compte des analyses prévues? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Des échantillons de réserve et des échantillons à archiver sont-ils compris? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Description du site		
La position du site est-elle fixée avec la précision nécessaire? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tous les facteurs utiles à la description du site sont-ils fixés? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Prélèvement <i>☞ chapitre 6</i>	OUI	NON
Les propriétaires des biens-fonds/Les fermiers concernés sont-ils informés des travaux imminents? Motif:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Les mesures de sécurité sont-elles prises (mesures de protection, sécurisation, etc.)? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Une recherche d'obstacles souterrains a-t-elle été effectuée et les autorisations nécessaires sont-elles récoltées? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Le personnel est-il qualifié et a-t-il reçu les instructions nécessaires? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Le moment choisi est-il approprié? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
La succession prévue des prélèvements tient-elle compte du risque de contamination? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les quantités à prélever peuvent-elles être atteintes avec le nombre d'échantillons simples retenus et avec l'instrument de prélèvement choisi? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les fiches sont-ils remplies avec le degré de détail nécessaire? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
L'emballage et le mode de transport répondent-ils aux exigences (taille, risque de contamination, chocs, ...)? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Préparation des échantillons <i>☞ chapitre 7</i>	OUI	NON
L'entreposage se fait-il dans de bonnes conditions (récipients, température, durée)? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les échantillons sont-ils séchés dans le meilleur délai possible? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Existe-t-il un risque de contamination lors de l'émottage et du tamisage? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Le partage des échantillons se fait-il de manière à garantir la représentativité des prises? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Archivage des échantillons <i>☞ chapitre 7.2</i>	OUI	NON
Existe-t-il un plan d'archivage? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les conditions sont-elles réunies pour assurer un archivage à long terme des échantillons? Motif:.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Annexe 2 Identification de pollutions potentielles

Le tableau permet une première identification des émissions responsables de pollutions des sols. L'enquête préalable montre s'il est effectivement nécessaire de procéder à une étude spécifique du site.

Les atteintes chimiques peuvent être causées par des émissions générées par des installations, par le stockage de déchets ou l'exploitation des sols. L'annexe 2 donne des indications sommaires sur les atteintes potentielles selon le type de site. Dans tous les cas, il convient de prendre en considération les conditions locales (histoire, âge de l'installation) pour déterminer les études qui devront être réalisées le cas échéant.

Sols pollués	Principaux polluants											
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	F	PAK	PCB	Di-oxines	Autres
1 Terrains à proximité d'installations												
1.1 Infrastructures de transport												
• Routes	X	X					X		X			
• Aéroports	X	X		X			X		X			
• Installations ferroviaires				X								
• Ventilation de tunnels	X	X					X		X			
1.2 Installations de production d'énergie												
• Installations de combustion (sans gaz ni huile de chauffage extra-légère)	X	X	X				X		X		X	
• Sites d'usines à gaz (y.c. emplacement de stockage du charbon)	X	X					X		X			
1.3 Installations d'élimination												
• Usines d'incinération des ordures ménagères (surtout anciennes)	X	X		X		X	X		X	X	X	
• Décharges	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
• Installations d'infiltration	X	X		X			X		X			
• Dépôts de ferraille/shredder	X	X	X	X	X	X	X			X		
1.4 Places et installations de tir	X			X		X	X					Sb
1.5 Installations industrielles et artisanales												
• Usines métallurgiques	X	X		X			X				X	
• Fonderies	X	X	X	X			X					
• Ateliers de galvanisation		X					X					
• Travail des métaux	X	X	X	X	X		X					
• Production de verre	X	X				X	X	X				
• Production de céramiques	X	X				X	X	X				
• Cimenteries	X					X		X			X	
• Industrie textile			X	X								

(suite de la tab.)

• Façonnage de matières synthétiques		X							X	X		
• Imprimeries	X	X	X	X			X					
• Façonnage du bois			X	X					X			
• Tanneries			X			X		X	X			
• Fabrication de peintures et de laques	X	X	X	X		X	X		X	X		
1.6 Ouvrages et constructions métalliques traités contre la corrosion	X	X	X				X		X	X		
2 Sols exploités de façon particulière												
• Sols avec apports intensifs de boues d'épuration	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	
• Jardins privés et familiaux	X	X		X		X	X					
• Sols de vignes	X	X		X								
• Sols de cultures intensives	X			X								
• Sols fertilisés de façon intensive avec du lisier de porc				X								

Sources: OFEFP et FAC (1987), OFEFP (1996), OFEFP (2001a)

Annexe 3 Dépassements naturels des teneurs de fond

Types de roches avec fréquence de dépassement des teneurs de fond, d'après *Tuchschmid (1995)*, *Desaules et Dahinden (1996)*.

Types de roches		Dépassements (valeur indicative en mg/kg)										
		Pb 50	Cd ¹ 0.8	Zn 150	Hg 0.5	Cu 40	Ni 50	Cr 50	Mo 5	F 700	Co ² 25	Tl ² 1
Code												
GF1	Roches cristallines acides											
LF1	Granites, granodiorites, etc.	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	2
LF3	Orthogneiss	-	-	-	-	1	-	-	-	2	-	3
GF2	Roches cristallines (ultra-) basiques											
LF2	Diorites, gabbros, porphyrites	-	-	-	-	-	-	1	-	1	1	2
LF4	Amphibolite, roches à hornblende	-	-	-	-	2	3	3	-	2	3	-
LF5	Péridotites	-	-	-	-	1	3	3	1	-	2	-
LF15	Schistes verts	-	-	1	-	3	3	3	-	-	3	-
LF16	Serpentinites	-	-	-	-	-	3	3	2	-	-	-
GF3	Roches argileuses (pélites)											
LF6	Paragneiss	-	-	1	-	-	-	2	-	3	2	2
LF9	Schistes argileux à schistes ardoisiers	-	-	1	-	2	1	3	-	1	-	3
LF11	Flysch, schistes lustrés	1	1	1	-	2	2	3	-	3	1	2
LF17	Marnes, argile marneuse, schistes argileux	1	1	2			2	2		1	2	2
LF21	Marnes et argiles molassiques	1	-	-	-	-	2	3	-	2	2	2
LF23	Sidérolithique	2	-	2	-	2	3	3	2	1	3	1
LF24	Limons et argiles glaciaires	-	-	-	-	1	2	3	-	2	1	-
LF25	Limons et argiles alluviaux	1	-	-	1	2	3	3	-	1	2	1
GF4	Roches sableuses (grès)											
LF7	Métapsammites, quartzites	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
LF10	Arkoses, grès, brèches fines	1	1	1	-	2	1	2	-	2	1	2
LF13	Flysch	-	-	-	-	-	2	2	-	2	2	-
LF14	Radiolarites	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LF26	Sables alluviaux	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-
LF32	Grès molassiques	-	-	-	-	-	1	2	-	-	1	-
GF5	Roches carbonatées et sulfatées											
LF8	Marbres, marbres à silicates calciques	-	-	-	-	1	2	1	-	-	2	-
LF12	Schistes lustrés / Flysch	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LF18	Calcaires, calcaires siliceux	-	1	2	-	-	1	1	1	-	1	-
LF19	Dolomies, cargneules	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
LF20	Gypse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GF6	Charbons / Roches bitumineuses											
LF27	Charbons, roches bitumineuses	2	-	2	3	2	2	2	3	-	2	2

- = absence;

2 = occasionnel (90^e centile >VI);

1 = rare (maximum >VI);

3 = fréquent (médiane >VI).

¹ Les calcaires à gros grains dépassent rarement la valeur indicative du Cd (*Benitez Vasquez 1999*).

² L'OSol ne propose pas de valeur indicative correspondante; de ce fait l'ancienne valeur Osol (1986) est indiquée.

Les valeurs mesurées dans les roches mélangées à granulométrie grossière (p. ex. moraine, gravier, poudingue) sont rarement sûres. Des évaluations grossières peuvent être faites à partir des éléments constitutifs. Une clé permet de relier les types de roches énumérés aux unités figurants sur la carte géotechnique de la Suisse (1:200 000). Sur les cartes d'ensemble digitalisées (1:1 500 000), les fréquences de dépassement des teneurs de fond sont représentées sous la forme de surfaces (*Keller et Desaulles 2001*).

Même si les teneurs en polluants des roches-mères et des sols qui en dérivent ne peuvent être comparés que sous conditions, elles servent souvent dans la pratique de valeurs approchées (*Desaulles et Dahinden 1996*). Doivent être exclus les sols organiques et les sols minéraux fortement altérés. Les sols formés sur les roches très solubles, comme les calcaires et le gypse, sont par exemple fortement enrichis en Cd et en F.

Annexe 4 Relevé des données nécessaires à l'établissement du bilan des substances pour les surfaces agricoles

Méthode

Les bilans de substances complètent l'étude à long terme des polluants du sol de manière judicieuse. Ils permettent d'une part de reconnaître assez tôt les atteintes portées aux sols, par exemple l'accumulation de métaux lourds, d'autre part de choisir des mesures appropriées pour réduire les apports ou de fixer les valeurs d'apport critique (*von Steiger et Obrist 1993, OFEFP 1993, van der Zee et de Haan 1998, Keller 2000*). L'établissement de bilans de polluants dans les sols agricoles dépend de l'échelle spatiale de référence et de l'état d'agrégation des éléments du bilan. Suivant les questions posées, l'opération peut se faire au niveau national (p. ex. aperçu dans *Moolenaar 1998, Schütze et Nagel 1998*), régional (p. ex. *Tiktak et al. 1998, Keller 2000*) ou à celui de l'exploitation agricole (p. ex. *von Steiger et Baccini 1990, Reiner et al. 1996, LBP 1997, Moolenaar et Lexmond 1998*). Au niveau national, les bilans donnent seulement des tendances, qui ne peuvent pas être reprises à des échelles plus petites. Les bilans de polluants établis au niveau de l'exploitation agricole ne peuvent pas être extrapolés sans autre à une échelle spatiale plus grande.

Flux de polluants et sources d'information

Les apports de polluants par les substances auxiliaires, comme les engrais de ferme, les engrais minéraux, les engrais de recyclage et les produits phytosanitaires, jouent en la circonstance un rôle déterminant, sans oublier toutefois les exportations de polluants par les récoltes et les produits agricoles. Il faut en outre prendre en compte les dépôts atmosphériques, l'érosion et la migration des polluants en profondeur. Suivant l'échelle de référence des bilans, il est possible de calculer les apports et les retraits à partir de données existantes. Dans le cadre des prestations écologiques requises, les agriculteurs établissent un bilan des substances nutritives pour l'ensemble de leur exploitation ("*Suisse-Bilan*") et relèvent le mode d'exploitation de leurs parcelles sur les carnets des champs et des prés. La fiche complémentaire "*Agriculture*" (☞ chap. 8, ann. 5) fait apparaître, les principaux éléments y relatifs. Des données agricoles régionales peuvent ainsi être extraites des relevés d'exploitation fournis par l'Office fédéral de la statistique. Le tableau suivant énumère par exemple les sources d'information qu'il est possible de consulter pour établir les bilans des entrées et des sorties de polluants. Les flux de substances peuvent varier dans le temps sur les parcelles agricoles. Pour cette raison, il est recommandé de prendre en compte au moins une période d'assolement pour les calculs à effectuer en zone de grandes cultures. Pour des durées plus courtes, toutes les parcelles soumises aux mêmes conditions d'assolement que la parcelle étudiée peuvent être comprises dans les calculs. Les incertitudes dues aux variations spatiales des grandeurs mesurées, au manque de précision ou à l'absence des informations peuvent être compensées et quantifiées par une évaluation de nature stochastique (*Keller 2000*).

Apports en polluants	Niveau	Source(s) d'information possible(s)
Engrais de ferme		
Nombre d'animaux	Exploitation agricole/Région	Carnets des champs et des prés, Office fédéral de la statistique (OFS)
Exploitations	Exploitation agricole/Région	Carnets des champs et des prés, Office fédéral de la statistique (OFS)
Production par tête	Région/Pays	Données de bases pour la fumure (p. ex. <i>OFAG 2001</i>)
Composition	Exploitation/Région/Pays	Résultats d'analyses (p. ex. <i>Menzi et Kessler 1998</i>)
Compost/Boues d'épuration		
Quantités	Région/Commune	entreprises de compostage, banque de données boues d'épuration STEP
Composition	Région/Commune	entreprises de compostage, banque de données boues d'épuration STEP
Engrais minéraux		
Quantités	Exploitation agricole	Directives sur l'épandage d'engrais / Vulgarisation agricole, sociétés d'agriculture / Carnets des champs et des prés
Composition	Pays	Résultats d'analyses
Produits phytosanitaires	Région/Pays	Informations sur les produits (p. ex. <i>OFAG 2002</i>), Carnets des champs et des prés
Apports atmosphériques	Région	Services cantonaux de la protection de l'environnement Réseau national d'observation des polluants atmosphériques, NABEL (p. ex. <i>OFEFP 2000f</i>)
Exportation de métaux lourds		
Récolte		
Surfaces cultivées	Exploitation agricole/Région	Carnets des champs et des prés, Office fédéral de la statistique
Rendements	Exploitation agricole/Région	Carnets des champs et des prés, sociétés d'agriculture,
Composition	Exploitation agricole/Région	Résultats d'analyses
Entraînement par lessivage		
Types de sol	Région	Cartes pédologiques, services cantonaux de la protection de l'environnement
Teneurs dans le sol	Exploitation agricole	Relevés pédologiques, réseau national d'observation des sols (NABO)
	Région	Réseaux cantonaux d'observation des sols
Erosion		
Exposition à l'érosion	Terrain/Exploitation agricole	Cartes pédologiques, services cantonaux de la protection de l'environnement

Autres publications utiles

OFAG, 2002, Produits phytosanitaires – registre 2002, 380 p., Berne.

OFAG, 2001, Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages – DBF 2001, Revue suisse d'agric., 33, n°. 3, 80 p., Berne (mai/juin 2001).

- OFAG, OFEFP, 1994, Instructions pratiques pour la protection des eaux en agriculture (concernant les engrais de ferme), 132 p., Berne.
- OFEFP, 2000f, NABEL, La pollution de l'aire 1999, mesures exécutées à l'aide du Réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL), Cahier de l'environnement no. 316, 195 p., Berne.
- OFEFP, 1993, Réseau national d'observation des sols, présentation du réseau et premiers résultats – période d'observation 1985–1991, Cahier de l'environnement no. 200, 175 p., Berne.
- Keller A., 2000, Assessment of uncertainty in modelling heavy metal balances of regional agroecosystems, dissertation no. 13944, Institut für Terrestrische Ökologie, ETH Zürich.
- LBP, 1997, Boden-Dauerbeobachtungsflächen – Bericht nach 10jähriger Laufzeit 1985–1995, Schriftenreihe LBP Nr. 5, Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP), München.
- Menzi H., Kessler J., 1998, Heavy metal content of manure in Switzerland, in: Martinez J. (ed.) *"Proceedings of the FAO-Network on Recycling Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAN 98)"*, Rennes, France.
- Moolenaar S.W., 1998, Sustainable management of heavy metals in agro-ecosystems, PhD Thesis, Agricultural University of Wageningen, The Netherlands.
- Moolenaar S.W., Lexmond T.M., 1998, Heavy-metal balances of agro-ecosystems in the Netherlands, Netherlands J.Agric.Sci., 46, 171–192.
- Reiner I. et al, 1996, Stoffbilanzen landwirtschaftlicher Böden von ausgewählten Betriebstypen bei Verwendung von Klärschlamm und Kompost, BKK2 – Schlussbericht, TU Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft (AWS), Wien.
- Schütze, G., Nagel H.D., 1998, Kriterien für die Erarbeitung von Immissionsminderungszielen zum Schutz der Böden und Abschätzung der langfristigen räumlichen Auswirkungen anthropogener Stoffeinträge, Umweltbundesamts-Texte, Nr. 19, Forschungsbericht 204 02 825, Berlin.
- Tiktak A. et al, 1998, Modelling cadmium accumulation on a regional scale in the Netherlands, Nutrient Cycling Agroecosyst., 50, 209–222.
- Van der Zee S.E.A.T.M., de Haan F.A.M., 1998, Monitoring, control and remediation of soil degradation by agrochemicals, sewage sludge and composed municipal wastes, Adv.GeoEcology, 31, 607–614.
- Von Steiger, B., Baccini P., 1990, Regionale Stoffbilanzierung von landwirtschaftlichen Böden mit messbarem Ein- und Austrag, Nationales Forschungsprogramm "Boden", Bericht Nr. 38, Liebefeld-Bern.
- Von Steiger B., Obrist J., 1993, Available databases for regional mass balances in agricultural land, 35–46, in: Schulín R., Desaulés A., Webster R., v. Steiger B. (ed.), Soil Monitoring – Early Detection and Surveying of Soil Contamination and Degradation, Birkhäuser Verlag, Basel.

Annexe 5 Fiches

- ☞ Annexe 5-1: fiche "*Prélèvement*"**
- ☞ Annexe 5-2: fiche "*Préparation des échantillons*"**
- ☞ Annexe 5-3: fiche complémentaire "*Profil pédologique*"**
- ☞ Annexe 5-4: fiche complémentaire "*Echantillonnage ultérieur*"**
- ☞ Annexe 5-5: fiche complémentaire "*Agriculture*"**
- ☞ Annexe 5-6: fiche complémentaire "*Sylviculture*"**

Les fiches peuvent être directement téléchargées en format pdf à l'adresse www.nabo.admin.ch.

1 Identification

En gras: données minimales

11 Projet			
Projet:.....		Station/Parcelle:	
Opérateur:.....		Date:.....	
12 Emplacement			
Localité/Commune:		Canton:	
Lieu-dit:.....		N°. du Registre foncier:.....	
Coordonnées:.....		Altitude (m.s.m.):..... Carte nationale n°.:	
13 Contacts			
Propriétaire du bien-fonds:.....			
Exploitant:			
Personne concernée:.....			
14 Hypothèses de travail			
Voie de pénétration des polluants:			
Dispersion des polluants (à l'horizontale/à la verticale):.....			
Délimitation des sols pollués (à l'horizontale/à la verticale):			
Modèle de pollution (homogène/hétérogène):			
15 Fiches complémentaires			
<input type="checkbox"/> "Profil pédologique"	<input type="checkbox"/> "Agriculture"	<input type="checkbox"/> "Sylviculture"	<input type="checkbox"/> "Préparation des échantillons"
16 Echantillonnage ultérieur			
<input type="checkbox"/> prévu	<input type="checkbox"/> non prévu		

2 Situation de la placette de prélèvement

En gras: données minimales

21 Croquis de situation:			
Direction du N, distances en m			
22 Légende			
●	Point de repère:	Coordonnées:	
▲	Point fixe (description):	Distance au point d'implantation(m)	Direction (en degré):
N°. 1,,		
N°. 2,,		
N°. 3,,		
Photographie:.....			
23 Information complémentaire pour le repérage ultérieur			

3 Prélèvement et transport des échantillons

En gras: données minimales

31 Croquis avec répartition des échantillons simples utilisés pour constituer les échantillons composés (dispositif de prélèvement)

Direction du N, distance en m

32 Légende au croquis

● Point d'implantation	✕ Prise simple	● Point d'implantation de la surface/ligne de prélèvement
↑ Direction (en degré)	⊗ Sondage	▭ Fosse pédologique

33 Conditions météorologiques pendant le prélèvement

<input type="checkbox"/> Temps sec	<input type="checkbox"/> Pluie	<input type="checkbox"/> Chute de neige	Température (°C):
------------------------------------	--------------------------------	---	-------------------------

34 Etat du sol

<input type="checkbox"/> Sec	<input type="checkbox"/> Humide	<input type="checkbox"/> Gorgé d'eau	<input type="checkbox"/> Gelé
------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------

35 Mesures de sécurité non oui, mesures:**36 Informations complémentaires pour le prélèvement****37 Transport** non réfrigéré réfrigéré, durée:.....jour(s)

Remarques:.....

4 Occupation du sol et végétation

En gras: données minimales

41 Occupation du sol

<input type="checkbox"/> Forêt	<input type="checkbox"/> Zone bâtie	<input type="checkbox"/> Agriculture
<input type="checkbox"/> Résineux	<input type="checkbox"/> Jardin potager	<input type="checkbox"/> Prairie permanente
<input type="checkbox"/> Feuillus	<input type="checkbox"/> Jardin familial	<input type="checkbox"/> Pâturage
<input type="checkbox"/> Mixte	<input type="checkbox"/> Place de jeux pour enfants	<input type="checkbox"/> Alpage
<input type="checkbox"/> Autre:	<input type="checkbox"/> Autre:	<input type="checkbox"/> Terres assolées (y c. prairie artificielle)
.....	<input type="checkbox"/> Culture maraîchère
<input type="checkbox"/> Autres occupations		<input type="checkbox"/> Verger
.....		<input type="checkbox"/> Vigne
.....		<input type="checkbox"/> Autre:
.....	Distance à parcourir depuis la ferme (km):	
Durée de l'occupation: depuis (année)....., durée (ans):		

42 Utilisations antérieures

Utilisation:.....de-à (année):.....Durée (ans):.....

Utilisation:.....de-à (année):.....Durée (ans):.....

43 Couverture végétale

Végétation/Culture:.....

Degré de couverture (%):..... Couche d'humus (cm):

44 Informations complémentaires sur l'occupation du sol et la végétation**5 Climat et pollution atmosphérique**

En gras: données minimales

51 Type de placette Alpes Campagne Agglomération Ville**52 Emissions responsables d'apports de polluants par l'air** Rue(s): Industrie: Autre:**53 Climat et exposition de la placette**Précipitations (mm/an):..... Direction principale des vents: Exposé au vent Protégé du vent**54 Informations complémentaires au sujet du climat et de la pollution atmosphérique****6 Relief**

En gras: données minimales

61 Morphologie

<input type="checkbox"/> Plateau/Terrasse/Plaine	<input type="checkbox"/> Fond de vallée/Cuvette	<input type="checkbox"/> Sommet/Crête/Côte/Falaise
<input type="checkbox"/> Versant	<input type="checkbox"/> Pied de versant	<input type="checkbox"/> Fossé
		<input type="checkbox"/> Zone alluviale/Cône de déjection

62 Position et exposition de la placette Zone d'ablation Zone d'accumulation Zone stable — Pente (%):.....

Expositon (direction):.....

63 Informations complémentaires au sujet du relief**7 Géologie et Hydrologie**

En gras: données minimales

71 GéologieRoche-mère:.....riche en calcaire: oui non**72 Hydrologie** Présence de nappes d'eaux souterraines Zone inondable Karst**73 Informations complémentaires au sujet de la géologie et de l'hydrogéologie**

1 Identification

En gras: données minimales

11 Projet

Projet:..... Station/Parcelle:

Opérateur:..... Date:.....

12 Emplacement

Cf. fiche "Prélèvement" (11) correspondante

Localité/Commune: Canton:

Lieu-dit:..... N° du Registre foncier:.....

Coordonnées: Altitude (m.s.m.):..... Carte nationale n°:

13 Situation / Croquis de situation

Cf. fiche "Prélèvement" Cf.:

2 Topographie et géologie

21 Coupe / Remarques

3 Classification des sols

31 Classification des sols selon FAL (2002) / BGS (2002)

Type de sol: Sous-type:

4 Profil

41 Croquis du profil

1			Croquis du profil	2/3 Structure	4/5/6 Vids	7 Densité	8 Granulométrie	9/10 Humus	11/12 Pérosité	13 Test au HCl	14 pH (Helige)	Hydro-morphie	Couleur Munsell	Remarques/Désignation des échantillons	
Horizon		N°													Prof.(cm)
			0												
			10												
			20												
			30												
			40												
			50												
			60												
			70												
			80												
			90												
			100												
			120												
			140												
			160												

42 Légende

1) Désignation des horizons

- A Couche supérieure du sol (<30% MO)
- B Sous-sol
- C Roche-mère
- D Changement lithologique
- E Horizon de lessivage
- I Horizon d'accumulation
- O Horizon organique d'accumulation
- R Soubassement rocheux
- T Horizon tourbeux
- () Peu développé
- AB Horizon de transition
- B/C Horizon complexe
- a Anmoorique
- b Enfoui
- ch Altéré chimiquement
- cn Avec concrétions
- f Avec matière organique partiellement décomposée (moder)
- fe Enrichi en oxydes de fer
- fo Fossile
- g Avec taches de rouille
- gg Bariolé (hydromorphe)
- h Humifère
- k Enrichi en calcaire
- l Peu décomposé (litière)
- m Massif, cimenté
- na Riche en alcalis
- ox Enrichi en oxydes Fe/Al
- p Labouré
- q Enrichi en quartz résiduel
- r Réduit en permanence
- sa Enrichi en sels solubles
- st Structuré
- t Enrichi en argile
- vt Vertisolique, fissuré
- w Altéré
- x Compact
- y Recouvert de matériel d'origine étrangère
- z Physiquement désagrégé
- () Peu marqué

2) Structure

- 1 Structure granulaire
- 2 Structure cohérente
- 3 Structure en agrégats
- 4 Structure artificielle

3) Agrégats

- 1 En grumeaux
- 2 Polyédriques
- 3 Subpolyédriques
- 4 Prismatiques
- 5 En plaquettes
- 6 Friables
- 7 En masse
- 8 Sous forme de peaux

4) Macroporosité

- 0 Absence de pore
- 1 Pores petits / en nombre faible
- 2 Pores petits / en nombre moyen
- 3 Pores petits / en nombre élevé
- 4 Pores moyens / en nombre faible
- 5 Pores moyens / en nombre moyen
- 6 Pores moyens / en nombre élevé
- 7 Pores grossiers / en nombre faible
- 8 Pores grossiers / en nombre moyen
- 9 Pores grossiers / en nombre élevé

5) Fentes de retrait / Interstices

- (entre agrégats)
- 1 Fin (<1 mm)
 - 2 Moyen (1-2 mm)
 - 3 Grossier (>2 mm)

6) Pistes de vers

- 0 Aucune
- 1 Peu (doivent être recherchées)
- 2 Beaucoup (sautent aux yeux)

7) Compacité

- 1 Très lâche (<0.8 g/cm³; litière)
- 2 Lâche (0.8-1.2 g/cm³; couche supérieure du sol)
- 3 Moyennement compact (1.2-1.4 g/cm³; sous-sol)
- 4 Compact (1.4-1.8 g/cm³; compacté)
- 5 Très compact (>1.8 g/cm³)

8) Texture

		Argile %	Silt %
1	Sable	s 0-5	0-15
2	Sable silteux	su 0-5	15-50
3	Sable limoneux	sl 5-10	0-50
4	Sable fortement limoneux	sfl 10-15	0-50
5	Limon sableux	ls 15-20	0-50
6	Limon	l 20-30	0-50
7	Limon argileux	la 30-40	0-50
8	Argile limoneuse	al 40-50	0-50
9	Argile	a 50-100	0-50
10	Silt sableux	us 0-10	50-70
11	Silt	u 0-10	70-100
12	Silt limoneux	ul 10-30	50-90
13	Silt argileux	ua 30-50	50-70

9) Matière organique

		% humus
1	nh Non humifère	0.0
2	tfh Très faiblement humifère	0.1-1.9
3	fh Faiblement humifère	2.0-4.9
4	h Humifère	5.0-9.9
5	rh1 Riche en humus	10.0-14.9
6	rh2 Riche en humus	15.0-19.9
7	trh Très riche en humus	20.0-29.9
8	org Organique	30.0-100

10) Forme de l'humus

- 1 Mull
- 2 Moder
- 3 Humus brut
- 4 Tourbe

11) Classes de pierrosité

		% de pierres dans le sol
0	np Non pierreux	0.0
1	pp Peu pierreux	<5.0
3	fp Faiblement pierreux	5.0-9.9
4	p Pierreux	10.0-19.9
5	tp Très pierreux	20.0-29.9
6	rp Riche en pierres	30.0-49.0
7	ep Extrêmement pierreux	>50.0

12) Fraction de la pierrosité

- PF Pierrosité fine (0.2 - 5 cm)
- PG Pierrosité grossière (5 - 20 cm)
- BL Blocs (>20 cm)
- 1 >75% PF
- 2 >50% PF, >25% PG
- 3 >50% PF, >25% BL
- 4 >75% PG
- 5 >50% PG, >25% PF
- 6 >50% PG, >25% BL
- 7 >75% BL
- 8 >50% BL, >25% PF
- 9 >50% BL, >25% PG

13) Teneur en calcaire

- (test au HCl à 10%)
- 0 Pas de CaCO₃
 - 1 Présent dans les pierres seulement
 - 2 Faible effervescence
 - 3 Effervescence moyenne
 - 4 Effervescence marquée

14) Hydromorphie

- 0 Aucune
- 1 Concrétions noires
- 2 Taches de rouille diffuses
- 3 Taches de rouille nettes
- 4 Marmorisation
- 5 Couleurs de réduction (gris, bleu, vert)
- 6 Bigarrure
- 7 Décoloration en milieu humide

5 Date et signature

En gras: données minimales

51 Date et signature

Date: Signature:

1 Identification

En gras: données minimales

11 Projet

Projet:..... Station/Parcelle:

Opérateur..... Date:.....

12 Emplacement

Cf. fiche "Prélèvement" (11) correspondante

13 Contacts

Cf. fiche "Prélèvement" (11) correspondante, respectivement:

Nouveau propriétaire du bien-fonds:

Nouvel exploitant:.....

Nouvelle personne concernée:.....

2 Changements

21 Croquis de situation avec changements

Direction du N, distance en m

22 Légende

 Surface de prélèvement avec point d'implantation et alignement (en degré)

 Ligne de prélèvement avec point d'implantation et alignement (en degré)

 Fosse pédologique
 Sondage

 Pente (%)

• Point de repère : Coordonnées:.....

▲ Point fixe (description): , Distance au point d'implantation (m) , Direction (en degré):

Nº. 1,,

Nº. 2,,

Nº. 3,,

Photographies:.....

23 Changements de l'occupation du sol

- Occupation inchangée
- Nouvelle occupation, depuis (année):.....
- Occupation actuelle (classification suivant fiche "Prélèvement" n°. 41):

24 Changements de la couverture végétale

- Couverture végétale inchangée
- Changements observables:
- Végétation/culture:
- Degré de couverture (%):.....Couche d'humus (cm):

25 Informations complémentaires pour le repérage ultérieur (changements)

3 Prélèvement et transport des échantillons

En gras: données minimales

31 Croquis avec répartition des échantillons simples utilisés pour la constitution d'un échantillon composé

Direction du N, distance en m

32 Légende au croquis

-  Point d'implantation
-  Echantillon simple
-  Point d'implantation de la surface/ligne de prélèvement
-  Alignement (en degré)
-  Sondage
-  Fosse pédologique

33 Conditions météorologiques pendant le prélèvement

- Temps sec Pluie Chute de neige Température:

34 Etat du sol

- Sec Humide Gorgé d'eau Gelé

35 Mesures de sécurité

- Oui Non Mesures prises:.....

36 Informations complémentaires pour le prélèvement

37 Transport des échantillons

- Non réfrigéré Réfrigéré, durée:.....jour(s)

Remarques:.....

1 Identification

En gras: données minimales

11 Projet

Projet:..... Station/Parcelle:

Opérateur:..... Date:

12 Emplacement

Cf. Fiche "Prélèvement" (11) correspondante

Localité/Commune: Canton:

Lieu-dit:.....

Coordonnées: Altitude (m.s.m.): Carte nationale n°:

13 Contacts

Cf. fiche "Prélèvement" (11) correspondante

Propriétaire du bien-fonds:

Exploitant:

2 Données générales concernant l'exploitation

21 Type d'agriculture

Biologique Prestations écologiques requises Intensive

22 Subdivision en zones

Zone des grandes cultures Zone intermédiaire élargie Zone intermédiaire Zone des collines

Zone de la région de montagne 1 2 3 4 (entourer ce qui convient)

23 Surface exploitée (ha)

Surface agricole utile: Surface fertilisable: Terres assolées:

24 Exploitant

Actif sur l'exploitation depuis (année): Exploitant précédent:

3 Occupation du sol

31 Prairie permanente/Pâturage

Prairie de fauche Pâturage Prairie utilisée en fauche-pâturage

32 Production végétale/Rotation

Culture(s): Année:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

33 Arboriculture

Pommes Poires Pruneaux Cerises

Autre:

34 Cultures maraîchères

Légumes frais Légumes pour conserves

Cultures:.....

.....

35 Vignes

Durée de l'exploitation viticole (ans): Age des ceps (ans):

4 Cheptel / Engrais de ferme produits sur place

41 Unités de gros bétail-fumure (nombre UGBF)

Total UGBF: Porcs (PPE; év. UGBF):

42 Cheptel (nombre)

Porcs: Bovins: Chevaux:

Petits ruminants: Volaille: Autre:

43 Contrat pour engrais de ferme

Type: Quantité/an: Remise/Reprise:

5 Engrais ne provenant pas de l'exploitation

51 Engrais phosphatés minéraux

Superphosphates Superphosphates triple Phosphates naturels Scories de déphosphoration

Autre (Produit/Fabricant):

52 Engrais de recyclage

Compost: Quantité/année: Origine:

Boues d'épuration: Quantité/année: Origine:

Autre: Quantité/année: Origine:

53 Informations complémentaires

6 Utilisation de produits phytosanitaires

61 Nature, quantité, origine

Nom du produit (quantité/année):

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7 Date et signature

En gras: données minimales

71 Date et signature

Date: **Signature:**

1 Identification

En gras: données minimales

11 Projet

Projet:..... Station/Parcelle

Opérateur:..... Date:.....

12 Emplacement Cf. fiche "Prélèvement" (11) correspondante Localité/Commune: Canton:.....

Lieu-dit:

Coordonnées: Altitude (m.s.m.): Carte nationale n°:.....

13 Contacts Cf. fiche "Prélèvement" (11) correspondante Propriétaire du bien-fonds: Exploitant:

Forestier:

2 Données concernant l'exploitation**21 Type d'exploitation** Futaie Taillis sous futaie Taillis**22 Forme d'exploitation** Coupe progressive Coupe par bandes Coupe rare Coupe jardinière**3 Effectif****31 Nature des peuplements** Résineux pur (91–100 % résineux) Résineux mélangé (51–90 % résineux) Feuillu mélangé (11–50 % résineux) Feuillu pur (0–10 % résineux)**32 Degré de fermeture****Rapport entre la projection de la surface de la couronne et la surface totale (%):.....****33 Stade de développement**Diamètre à la hauteur de la poitrine des 100 arbres les mieux développés, par ha (d_{dom}):.....cm Recrû ($d_{dom} < 12$ cm) Perchis ($d_{dom} = 12-30$ cm) Jeune futaie ($d_{dom} = 31-40$ cm) Futaie moyenne ($d_{dom} = 41-50$ cm) Vieille futaie ($d_{dom} > 50$ cm) Mélange (pas de stade de développement prédominant)**34 Structure du peuplement** monocouche étagé pluricouche (indication de la hauteur des différentes couches):

.....

.....

35 HauteurHauteur moyenne des 100 arbres les plus forts à l'ha (h_{dom}):.....**36 Age**

Age moyen de l'effectif (ans):

37 Informations complémentaires

4 Date et signature

En gras: données minimales

41 Date et signature

Date: **Signature:**