



Manuel méthodologique pour le monitoring simple des sols des systèmes agronomiques

Liv Kellermann, Célia Bühler

Sommaire

1 Préparatifs	3
1.1 Suivre l'état du sol sur son terrain	3
1.2 Sélectionner les bonnes surfaces d'échantillonnage et surfaces témoins	3
1.3 Description du sol	5
2 Monitoring	11
2.1 Test à la bêche	11
2.2 FAO score	12
2.3 Vers de terre	14
2.4 Arthropodes	15
2.5 Température du sol	16
2.6 pH	17
2.7 Échantillon de laboratoire	18
2.8 Biologie du sol (Bait Lamina)	19
3 Bibliographie	20

1 Préparatifs

1.1 Suivre l'état du sol sur son terrain

Ces dernières années, de nombreuses personnes issues de l'agriculture, de l'horticulture, des associations, ou encore à titre privé, mettent en place des systèmes de culture durable et se demandent s'ils ont un effet positif sur le sol. Ce manuel rassemble quelques méthodes pour mesurer l'état du sol de manière relativement fiable, avec peu d'équipement et sans grands efforts. Les méthodes ont été testées lors de monitorings du sol des systèmes de permaculture à la BFH-HAFL et se basent, autant que faire se peut, sur des méthodes référencées ou répandues en Suisse. Elles ne couvrent toutefois qu'une petite sélection des différentes observations possibles de l'état d'un sol. Elles peuvent être complétées au gré des intérêts et moyens personnels.

Lorsqu'à la fois des méthodes de terrain et de laboratoire sont proposées pour une observation (p. ex. pH ou activité biologique), une seule suffit. Bien que les mesures en laboratoire donnent en principe des valeurs plus précises et que le prélèvement d'échantillons est simple et rapide, elles ont un coût. Les méthodes de terrain sont certes moins chères, mais elles sont aussi plus complexes à réaliser et requièrent davantage d'observations personnelles.

Il est important d'effectuer les mesures de monitoring du sol seulement lorsque son humidité est raisonnable : les conditions d'humidité ou de sécheresse extrêmes ne s'y prêtent pas.

Vérifiez l'état du sol de votre région sur www.bodenmessnetz.ch et échantillonnez lorsqu'il est indiqué « humide » (pastille jaune, env. 10-30 cm à 35 cm de profondeur). Considérez les 2 stations de mesure les plus proches de la surface à monitorer.

Après des pluies, il faut toujours attendre 2 à 3 jours avant de prélever des échantillons.

Lors de l'aménagement de la parcelle, notamment en permaculture, on ajoute souvent une couche épaisse et meuble de mulch. Cette couverture du sol ne compte pas comme un horizon de sol : l'échantillonnage porte sur les horizons initialement présents, dont l'épaisseur, la composition, etc. peuvent toutefois légèrement évoluer au fil du temps.

Pour certaines observations, notamment les mesures biologiques ou la teneur en azote du sol, un seul échantillonnage à un moment de l'année n'est pas représentatif, car ces valeurs fluctuent beaucoup et dépendent des conditions météorologiques. Même si les mesures sont toujours effectuées le même jour chaque année, les valeurs obtenues différeront complètement selon que les semaines précédentes ont été froides et pluvieuses ou chaudes et sèches. Ces mesures ne sont donc pertinentes que si elles sont aussi réalisées au même moment sur des surfaces témoins (voir 1.2), qui permettent de déterminer si un changement d'une année à l'autre est dû à une différence de gestion ou aux conditions générales de l'environnement.

1.2 Sélectionner les bonnes surfaces d'échantillonnage et surfaces témoins

Si l'on souhaite mesurer les changements de l'état du sol après en avoir modifié la gestion, il est recommandé de monitorer également une autre surface où la gestion est restée inchangée. Cela permet d'identifier des changements qui ne résultent pas de la gestion, mais des générales de l'environnement. Le choix des surfaces témoins n'est toutefois pas chose facile, car le sol est très hétérogène et évolue différemment en fonction de son utilisation ; on risque donc de comparer des sols très différents. Dans ce cas, on ne devrait pas comparer les valeurs absolues mesurées, mais uniquement les changements qualitatifs. Par exemple, si l'on exploite depuis peu en permaculture une ancienne prairie, comparer cette parcelle avec une terre arable classique a des limites, car les deux sols présenteront d'emblée des caractéristiques très différentes en raison de leur exploitation au fil des siècles. En principe, il faut choisir une surface témoin qui était utilisée de la même manière que la « parcelle d'essai » avant la modification de son exploitation, et dont l'emplacement et les caractéristiques sont similaires (voir 1.3). Il est par ailleurs très utile de relever l'état initial d'une surface avant un changement de gestion et d'effectuer une ou plusieurs nouvelles mesures après ce changement.

Dans ce cas, il est bon de définir l'emplacement des points de mesure afin d'utiliser chaque fois les mêmes. Dans la mesure du possible, ces points doivent se trouver à des emplacements où il ne surviendra pas de perturbation. En outre, il faut prévoir suffisamment d'espace pour pouvoir légèrement décaler la surface de prélèvement des échantillons de sol chaque année, afin de ne pas effectuer les mesures dans un sol perturbé par le prélèvement précédent. Lors du choix de l'emplacement des points de mesure, il convient en outre de vérifier sur une carte géologique (p. ex. <https://map.geo.admin.ch>, couche « Geocover ») que tous les points se trouvent sur la même roche mère.

Pour les petites surfaces ou la culture en platebandes, il est recommandé de déterminer divers emplacements à des endroits représentatifs des surfaces et répartis uniformément (Figure 1). On conseille cinq points de mesure sur la surface exploitée et cinq autres sur la surface témoin pour l'évaluation. Dans un système en bandes, il est recommandé d'échantillonner par transects selon la méthode de Minarsch et al. 2022, en plaçant une série de points de mesure en travers de la bande exploitée, où l'on prélève pour chaque point un échantillon composite formé de quatre points le long de la série (Figure 2).

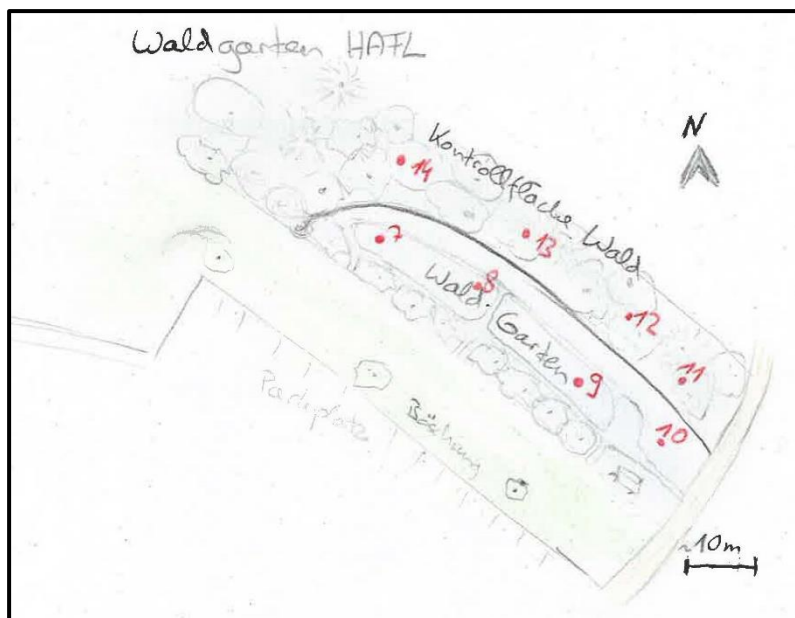


Figure 1 : Schéma du jardin-forêt de la BFH-HAFL illustrant le choix de surfaces et de points de mesure (en rouge) pour le monitoring d'une seule surface.

Une appli gratuite comme maps.me permet de localiser facilement et précisément les points de mesure sur le terrain (disponible sur Android et iOS). Il est possible d'y créer un dossier pour tous les points de mesure d'une exploitation, et de modifier le libellé et la description de chaque point. On peut aussi exporter les coordonnées de tous les points de mesure dans un fichier .kmz que l'on peut ensuite importer dans Google Earth ou dans un logiciel SIG comme QGIS.

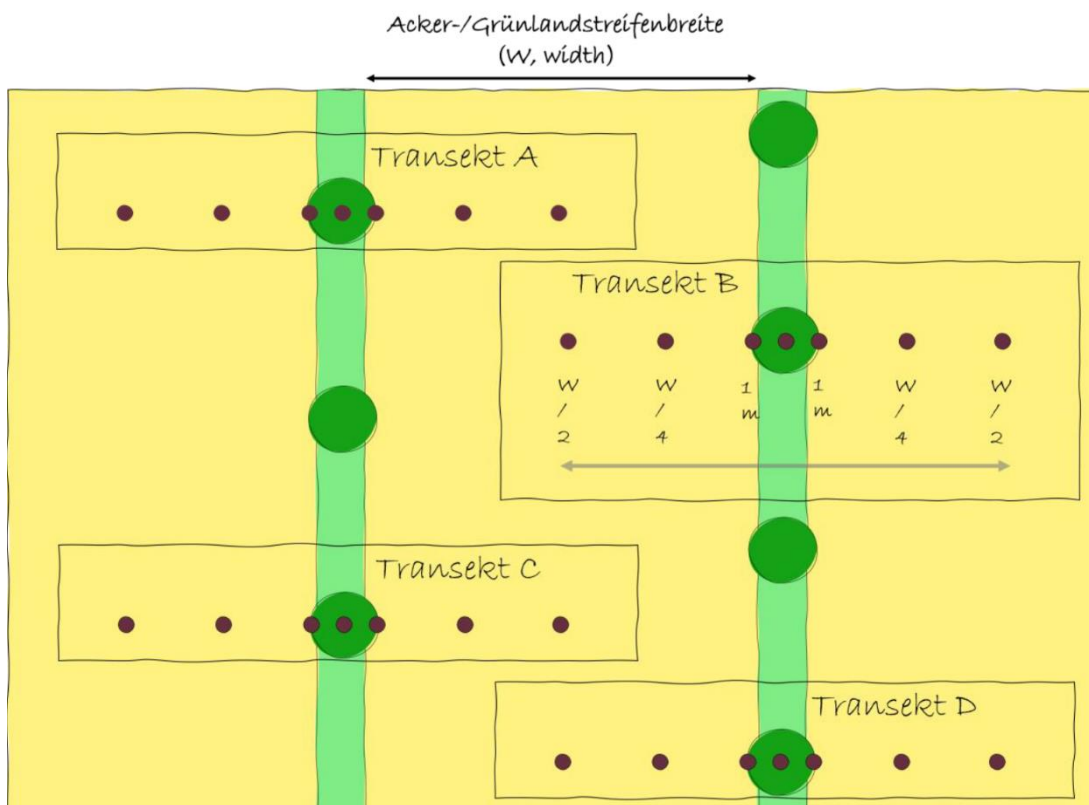
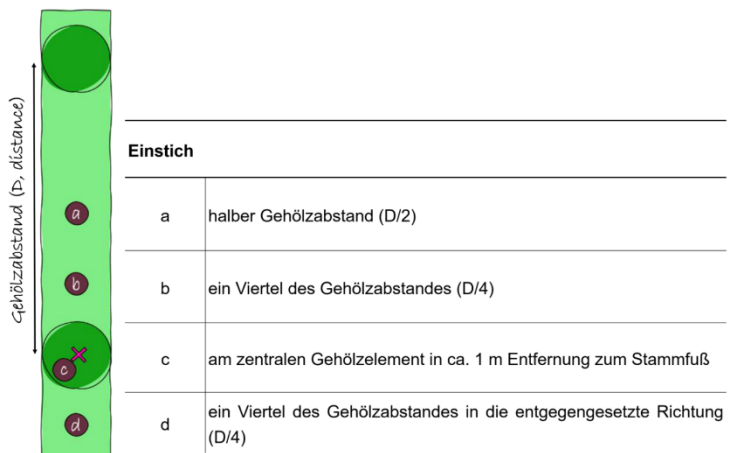


Figure 2 : Exemple de placement de points de mesure dans un système en bandes selon Minarsch et al. (2022). Des transects composés de plusieurs points sont définis sur la bande exploitée (figure ci-dessus). Chaque point correspond à un échantillon composite de quatre prélèvements le long ou en parallèle de la bande exploitée (figure de droite).



1.3 Description du sol

Afin de s'assurer que les points de mesure présentent des caractéristiques de sol similaires et de réduire ainsi quelque peu la variance des résultats, il est recommandé d'examiner de près la structure du sol à chaque point de mesure. On peut à cet effet réaliser des sondages à l'aide d'une tarière manuelle ou thermique. Nous présentons ci-dessous des méthodes simples pour décrire ces sondages. Les méthodes de terrain utilisées sont conformes à la pratique cartographique courante « FAL 24+ » (Brunner et al. 1997 ; service de la protection des sols du canton de Soleure 2017) ; en revanche, nous avons revu et adapté les fiches méthodologiques.

Seuls des points similaires devraient être inclus dans le monitoring. Similaire signifie : même roche mère ; processus de formation similaire ; la granulométrie se situe dans une fourchette de 3 classes de granulométrie voisines, les premier et dernier horizons (haut et bas) du profil du sondage étant considérés séparément ; le pH se situe dans une fourchette de 2 unités, les horizons sont de couleurs semblables.

1.3 – Description du sol



1.3.1 Sondage

A

B

C

I

J

K

L

Formulaire 1.3 (p.10)

Paramètres étudiés

- Horizons du sol
- Profondeur utile
- Caractéristiques du sol
- Restrictions par le sol

Commande

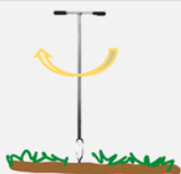
- Tarrière Edelman Kombi chez Birs Hydromet <https://www.birs-hydromet.ch/Boden-Geologie/%252801.02.02%2529-Edelman-Kombi.htm>

Matériel

- Tarière Edelman
- Toile cirée, plastique blanc, rigole
- Double-mètre
- Appareil photo ou smartphone

Méthode

a)



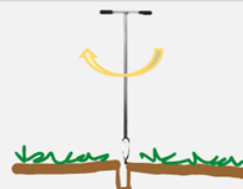
Enfoncer la tarière d'environ 20cm

b)



Déposer l'échantillon en gardant toujours le haut de la tarière (rouge) au bout du plastique

c)



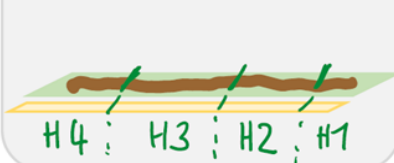
Recommencer l'opération de forage

d)



Déposer l'échantillon à la suite du premier

e)



Arrêter une fois qu'il n'est plus possible de creuser, identifier les différents horizons

1.3 – Description du sol



1.3.2 Test tactile

D

E

F

G

Formulaire 1.3 (p.10)

Paramètres étudiés

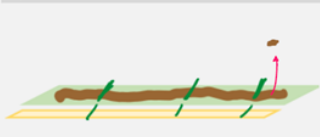
- Texture du sol en % (argile, limon, sable)

Matériel

- Flacon pulvérisateur avec de l'eau
- Guide de détermination (page suivante)

Méthode

a)



Prélever un échantillon de terre de la taille d'une noisette, retirer les petites pierres

b)



Humidifier l'échantillon ; assez pour qu'il puisse être modelé mais pas trop afin qu'il ne coule pas

c)

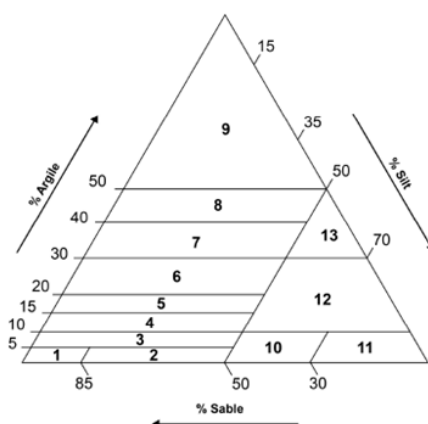


Homogénéiser l'échantillon en le malaxant entre les doigts



d)







Une fois l'humidité homogène, former des boudins et suivre le guide de détermination (page suivante) afin d'estimer les teneurs



Source: Brunner et al. 1997

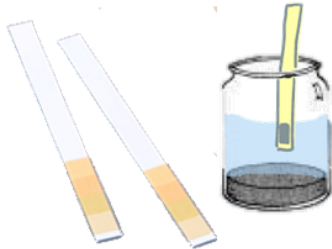
<ul style="list-style-type: none"> Impossibilité de former un petit boudin 	<p>→ Teneur en sable élevée, teneur en argiles < 10 %.</p>	 <p><i>L'échantillon ne permet pas de former de petit boudin.</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> Possibilité de former des boudins de l'épaisseur d'un crayon et rugueux. 	<p>→ Teneur en argile entre 10 et 20 %.</p>	 <p><i>Petit boudin formable.</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> Échantillon très mou («tendre»), farineux et peu résistant au pétrissage. 	<p>→ Teneur en limons > 35 %. Une teneur en limons inférieure à 30 % ne donne pas une impression de matériel farineux entre les doigts.</p>	 <p><i>Substance fine farineuse et restant dans les sillons des empreintes digitales.</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> Rugueux, peu malléable, grains perceptibles entre les doigts, points brillants visibles. 	<p>→ Teneur en sables élevée (principalement sables grossiers).</p>	 <p><i>Surface lisse, rugueuse, écailleuse, matte.</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> Boudin fin, flexible et malléable. 	<p>→ Teneur en argile > 20 %.</p>	 <p><i>Possible de former un boudin de 1/2 l'épaisseur d'un crayon.</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> Surface lisse et brillante en écrasant et «brossant» l'échantillon sur le pouce. 	<p>→ Teneur en argile > 30 %.</p>	 <p><i>Surface lisse et brillante.</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> L'échantillon résiste fortement au pétrissage. 	<p>→ Teneur en argile élevée (> 20 %).</p>	

	Nature du sol [code FAL]	Teneur en argile [%]	Teneur en limon [%]
Sols légers	S - Sable [1]	0 - 5	0 - 15
	uS - Sable silteux [2]	0 - 5	15 - 50
	IS - Sable limoneux [3]	5 - 10	0 - 50
	sU - Silt sableux [10]	0 - 10	50 - 70
	U - Silt [11]	0 - 10	70 - 100
Sols moyens-lourds	IrS - Sable fortement limoneux [4]	10 - 15	0 - 50
	sL - Limon sableux [5]	15 - 20	0 - 50
	L - Limon [6]	20 - 30	0 - 50
	IU - Silt limoneux [12]	10 - 30	50 - 100
Sols lourds	tL - Limon argileux [7]	30 - 40	0 - 50
	IT - Argile limoneuse [8]	40 - 50	0 - 50
	T - Argile [9]	> 50	0 - 50
	tU - Silt argileux [13]	30 - 50	50 - 100

1 - Description du sol



1.3.2 Mesure pH

M

Formulaire 1.3 (p.10)

Paramètre étudié

- $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$

Matériel

- Balance précise
- Récipients avec couvercle
- Scotch et stylo
- Eau avec pH neutre (env. 7), p.ex. distillé
- Bandelettes pour mesure pH

Commande

- pH bandelette: Pharmacie ou magasin de jardin
- Alternative pH Hellige chez <https://pronova.de/produkte/agrarmesstechnik/ph-messtechnik/249/hellige-ph-meter?c=9>

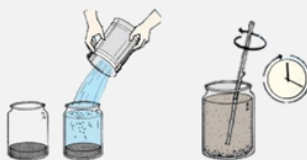
Méthode

a)



Déposer le récipient sur la balance de précision et tarer ; Ajouter 11 g de terre

b)



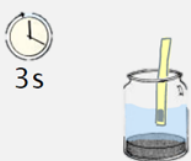
Tarer à nouveau ; ajouter 25g d'eau puis bien mélanger avec un bâton

c)



Refermer le récipient et laisser reposer 8 heures sans secouer

d)



Tremper la bandelette dans le mélange durant 3 secondes ; rester dans la partie de l'eau claire

e)



Sortir la bandelette de l'eau ; attendre 30 secondes

f)



Déterminer la valeur pH en comparant la couleur de la bandelette avec les références sur la boîte

2 - Monitoring



2.1 Test à la bêche

Paramètre étudié

- Structure du sol (porosité, forme et taille des agrégats, racines, etc.)

Matériel

- Bêche (normale/longue de drainage)
- Double-mètre
- Evtl. flacon pulvérisateur avec de l'eau

Commande

- Bêche drainage chez Joggi
<https://www.joggi.ch/?srv=search&pg=det&partnerId=5&rub=100080506&groupId=&artNr=100002769&markId=>

Méthode



www.spatenprobe.ch

2 - Monitoring



2.2 FAO score

Photos

Paramètre étudié

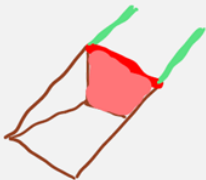
- Qualité de la structure du sol selon Sheperd et al. 2008

Matériel

- Bêche
- bâche plastique ou bac plat
- Double-mètre
- Planche
- Appareil photo ou smartphone

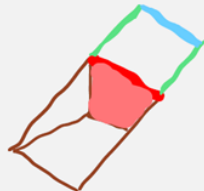
Méthode

a)



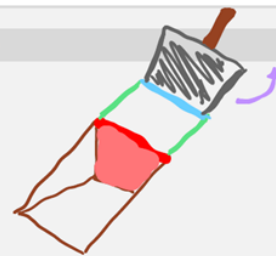
Préparer un trou. Enfoncer la bêche sur les 2 côtés verts, jusqu'à une profondeur de 30 cm

b)



Enfoncer la bêche sur le côté bleu jusqu'à 30 cm

c)



Tirer la bêche contre soi sans secousses afin de détacher le bloc de terre

d)



Soulever la bêche avec le bloc à hauteur de hanches, en la gardant à plat

e)

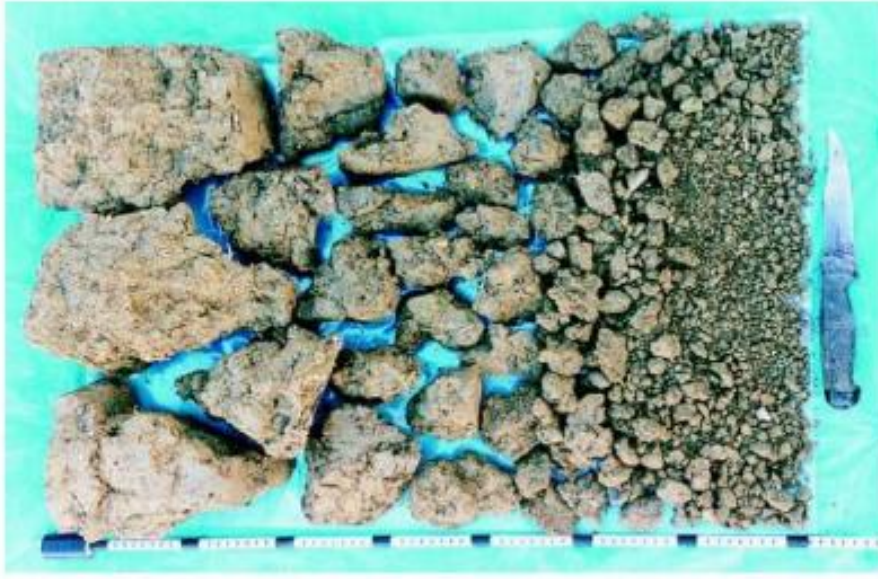


Tourner la bêche pour faire tomber le bloc de terre sur la planche pour le casser

f)



Trier les morceaux en fonction de leur taille et les disposer sur la bâche



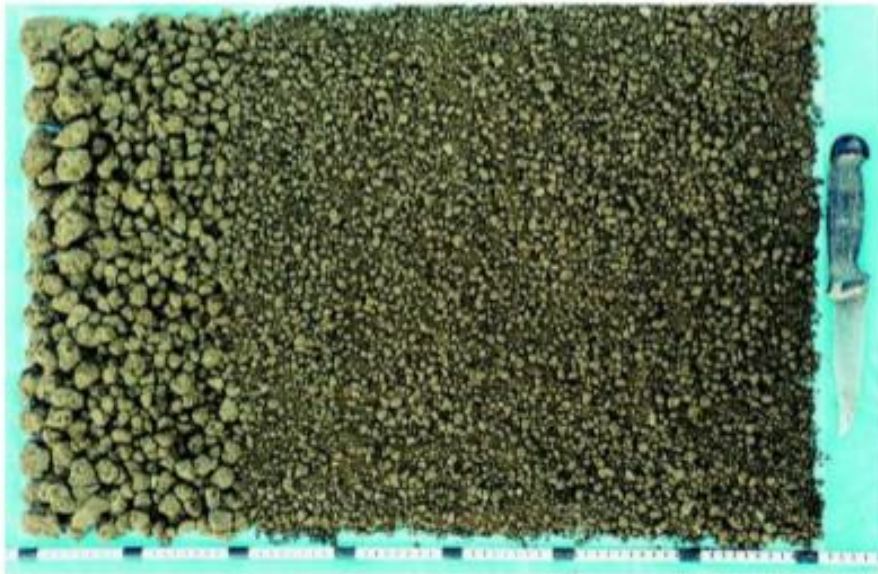
POOR CONDITION VS = 0

Soil dominated by extremely coarse, very firm clods with very few finer aggregates



MODERATE CONDITION VS = 1

Soil contains significant proportions of both coarse firm clods and friable, fine aggregates

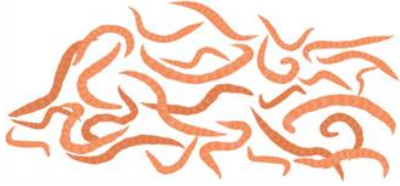


GOOD CONDITION VS = 2

Good distribution of friable finer aggregates with no significant clodding

Source: Sheperd et al. 2008

2 - Monitoring



2.3 Vers de terre

Paramètre étudié

- Population de vers de terre (nombre des individus)

Matériel

- Bêche
- Bac en plastique
- Pot en plastique avec de l'eau

Aller plus loin:

- Déterminer les groupes écologiques de vers de terre <https://agriculture-de-conservation.com/Observatoire-Participatif-des-Vers-de-Terre.html>

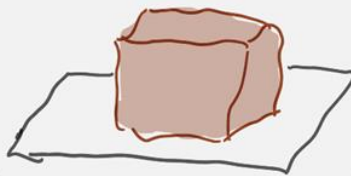
Méthode

a)



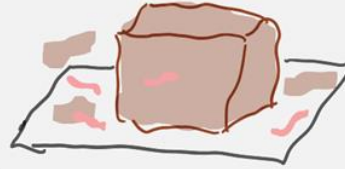
Enfoncer la bêche sur les 4 côtés verts, découper un trou de 20x20x20 cm

b)



Extraire le bloc de terre et le déposer dans le bac en plastique

c)



Trier la terre et mettre les vers de terre dans un récipient avec de l'eau pour les protéger du sec (ils ne vont pas couler). Poser le récipient toujours à l'ombre

d)



Compter les vers de terre puis les relâcher

2 - Monitoring



2.4 Arthropodes

Paramètre étudié

- Nombre d'arthropodes (petits organismes)

Matériel

- Verres en plastiques
- Alcool médicinal ou eau de vie fort

Aller plus loin

- Déterminer des classes des arthropodes sous «[Bodentiere fangen und bestimmen](#)» sur la site [Ideen Set Boden \(PH Bern\)](#)

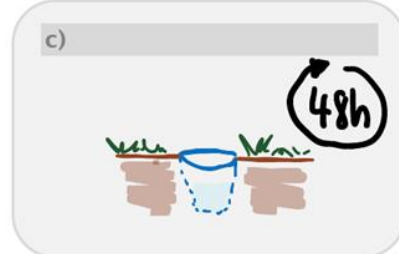
Méthode



Enterrer un verre en plastique à fleur du sol



Remplir la moitié du verre d'alcool



Laisser le verre 48h sur le champ. Ne pas recouvrir de mulch



Collecter les arthropodes et les compter

2 - Monitoring



2.5 Température

Paramètre étudié

- Température du sol et de la surface du sol pendant une période de temps

Commande

- Loggers p.ex. [HOBOPendant](#)

Matériel

- Bêche, petite pelle et fourchette
- Loggers
- Colson ou du fil de fer
- Smartphone et application HOBOMobile

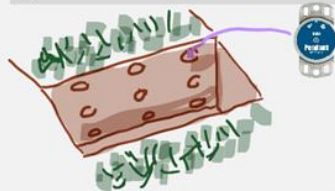
Méthode

a)



Allumer les loggers et les initialiser avec l'application

b)



Creuser un trou à la bêche, puis des niches pour les loggers

c)



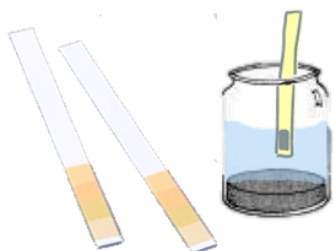
Attacher les loggers ensemble (par 3) puis les installer

d)



Marquer le point. Relever les données avec le bluetooth et le téléphone

2 - Monitoring



2.6 Mesure pH

Paramètre étudié

- $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$

Matériel

- Petite pelle ou tarière
- Balance de précision
- Récipients avec couvercle
- Scotch et stylo
- Eau avec pH neutre (env. 7)
- Bandelettes pour mesure pH

Remarque

Le pH d'un sol influence fortement la disponibilité des nutriments pour les plantes (Scheffer 2002). Il devrait donc se situer entre 5 et 7 dans le meilleur des cas et être stable. Dans le cadre d'un monitoring du sol, l'évolution du pH devrait être suivie. Il est possible de procéder selon la même méthode que dans le chapitre « Description du sol », mais il n'est pas nécessaire d'échantillonner tous les horizons, par exemple seulement deux profondeurs d'intérêt (par exemple 5-10cm et 15-20cm).

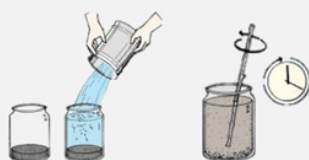
Méthode

a)



Déposer le récipient sur la balance de précision et tarer ; Ajouter 11g de terre

b)



Tarer à nouveau ; ajouter 25g d'eau puis bien mélanger avec un bâton

c)



Refermer le récipient et laisser reposer 8 heures sans secouer

d)



Tremper la bandelette dans le mélange durant 3 secondes ; rester dans la partie de l'eau claire

e)



Sortir la bandelette de l'eau ; attendre 30 secondes

f)



Déterminer la valeur pH en comparant la couleur de la bandelette avec les références sur la boîte

2 - Monitoring



2.7 Échantillon de laboratoire

Paramètre étudié

- Nährstoffe [P, K, Mg mg/kg Boden]
- pH
- Humusgehalt [%]
- biologische Aktivität/mikrobielle Biomasse in versch. Bodentiefen

Matériel

- kleine Schaufel oder Bohrer
- Eimer
- Plastiksäcke
- Stift zum Beschriften der Plastiksäcke

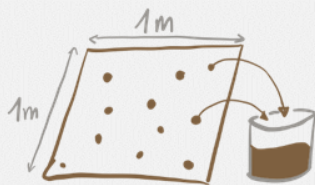
Commande

Les laboratoires qui offrent de l'analyse du sol:

- [Sol Conseil](#)
- [Eric Schweizer](#)
- [Labor Ins](#)

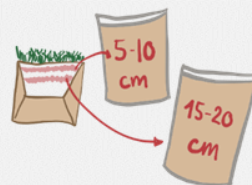
Méthode

a)



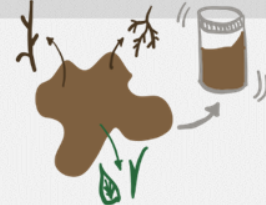
Auf mind. 1m² pro Messpunkt mehrmals Erde von verschiedenen Stellen entnehmen, um sie zu einer Mischprobe zusammenzufügen.

b)



Erde aus verschiedenen Tiefen separat zu sammeln, z.B. aus 5-10cm Bodentiefe und aus 15-20cm Bodentiefe.

c)



Pflanzenstücke entfernen, Probe sehr gut mischen. So lange sammeln, dass 500-1'000g frischer Boden zusammenkommen.

d)



Probe in den Sack füllen und kühl und dunkel lagern.

e)

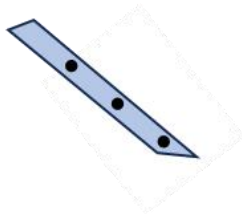


Möglichst rasch an ein Labor versenden.

Remarque

Lors de la commande auprès du laboratoire, veiller à ce que les méthodes souhaitées (p. ex. teneur en humus) prévoient une mesure analytique et non une estimation.

2 - Monitoring



2.8 Biologie du sol – Bait Lamina

Paramètre étudié

- activité biologique [%] des organismes décomposeurs du sol à l'aide d'appâts organiques (Bait Lamina) selon Campiche 2018 ; Kratz 1998

Matériel

- Bandelettes Bait lamina
- Couteau de poche ou tournevis
- Double mètre

Commande

- Bandelettes Bait Lamina et description détaillée de la méthode chez <https://www.envibiosoil.ch/en/bait-lamina>

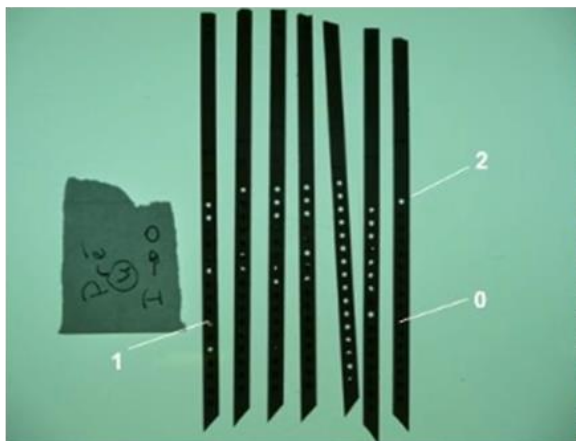


Photo: Sophie Campiche



Photo: Michaela Burkhart-Pastor

3 Bibliographie

Brunner, Johann; Jäggli, Friedrich; Nievergelt, Jakob; Peyer, Karl (1997): Kartieranleitung. Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Zürich Reckenholz: Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz (FAL).

Campiche S. (2018): Observer l'activité biologique des sols à l'aide de la méthode bait lamina. MINT Projekt PH Bern & HAFL: Exemplarische MINT-Bildung am Beispiel Boden. Arbeitspapier, unveröffentlicht.

Fachstelle Bodenschutz Kanton Solothurn (2017): Bodenkartierung Kt. SO, Projekthandbuch Teil III, Kartiermethodik (Kartiermethode FAL24+). 6. ergänzte Ausgabe. Edited by Amt für Umwelt des Kantons Solothurn

Kratz W (1998) The Bait-Lamina Test. *ESPR - Environ. Sci. & Pollut. Res.* 5:94-96.

Minarsch EML, Middelani T, Böhm C, Wichern F, Göbel L, Weckenbrock P (2022): Bodenkundliche Untersuchungen in streifenförmigen Agroforstsystemen - Leitfaden für Probennahmen im Transektdesign und Bodenparameter mit Methodenempfehlungen. Hrsg. Deutscher Fachverband für Agroforstwirtschaft (DeFAF) e.V., Karl-Liebknecht-Straße 102, Haus B, 03046 Cottbus, www.defaf.de

Shepherd G, Stagnari F, Pisante M, Benites J, 2008. *Visual soil assessment, field guide for annual crops.* Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 504 p.