

Construire en préservant les sols



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

Construire en préservant les sols



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

Sommaire

Préface	5
Littérature conseillée avec adresse de commande	6
Introduction	8

Informations pratiques

Fiche 0 : La protection des sols sur les chantiers	11
Fiche 1 : L'état initial	12
Fiche 2 : La manipulation des matériaux terreux	16
Fiche 3 : L'entreposage des matériaux terreux	22
Fiche 4 : La remise en place	27
Fiche 5 : La mise en culture	32
Fiche 6 : La prévention du compactage	37

Informations générales à propos du sol

Chap. 1 La fertilité du sol	41
Chap. 2 Le sol vit	42
2.1 Interface sol/plante	42
2.2 Classification, ordre de grandeur et brève description	43
2.3 Les vers de terre	46
Chap. 3 Les types de sols	48
3.1 Les sols perméables	48
3.2 Les sols engorgés	49
3.3 Les sols hydromorphes	49
3.4 Les sols alluviaux	49
3.5 Les sols hydromorphes organiques	50

Chap. 4 La nature du sol	51
4.1 L'argile	52
4.2 Le silt	53
4.3 Le sable	54
Chap. 5 La structure du sol	56
5.1 Structures primaires	56
5.2 Mottes et assemblages (structure secondaire)	57
Chap. 6 Les pores du sol et la porosité	60
6.1 Masse volumique apparente et densité réelle	60
6.2 Espace poral : les pores et leur répartition dans le sol	61
6.3 Régimes de l'eau et de l'air : la taille des pores	63
Chap. 7 La portance du sol	65
7.1 Conductivité ou perméabilité du sol	65
7.2 Mesure de la force de succion dans le sol	66
7.3 Relation entre le poids, la surface de portance et la transmission de la pression	67
7.4 Force de succion et intervention des machines	67
Chap. 8 Les méthodes d'analyse	69
8.1 Mesure de la capacité d'infiltration	69
8.2 Mesure de la force de succion	72
8.3 Mesure de la masse volumique apparente	74
8.4 Mesure de la résistance à la pénétration	76
8.5 Démonstrations au champ	78
Littérature citée	81
Illustrations	82
Impressum	83

Fiche 0**Fiche 1****Fiche 2****Fiche 3****Fiche 4****Fiche 5****Fiche 6****Chap. 1****Chap. 2****Chap. 3****Chap. 4****Chap. 5****Chap. 6****Chap. 7****Chap. 8**

Max Frisch («L'Homme apparaît au Quaternaire», 1982)

**«Le sol existe
aussi la nuit»**



Avant-propos

Lors de travaux de construction, on excave ou décape souvent d'importantes cubatures de sol fertile, que l'on entrepose en tant que matériaux terreux et utilise ultérieurement, p.ex. pour des remises en culture.

Des sols sont en outre mis à contribution provisoirement pour l'installation du chantier et des pistes de desserte ou l'aménagement de dépôts et de logements pour les travailleurs.

La loi sur la protection de l'environnement et plus particulièrement l'ordonnance de 1998 sur les atteintes portées aux sols exigent que les sols soient protégés des atteintes et que les matériaux terreux soient manipulés avec précaution afin d'en sauvegarder la fertilité. Pour pouvoir le faire, il faut avoir suffisamment de connaissances sur la structure, les organismes vivant dans le sol, les fonctions et la vulnérabilité du sol.

Le présent guide remplace et actualise le manuel épuisé « Protection des sols et génie civil » de 1996. Il résume des connaissances de base sur les sols et montre en six fiches pratiques comment construire en préservant les sols. Le guide complète les normes, les instructions et les directives qui traitent de types particuliers d'interventions du génie civil (p.ex. extraction de gravier, aménagement de conduites de gaz, construction de routes). Il contient l'essentiel de ce qui est valable pour tout type de construction.

Ce guide s'adresse surtout aux entreprises et aux personnes travaillant dans le domaine de la construction, mais aussi aux services de la construction et aux autorités responsables de la protection de l'environnement.

Nous remercions vivement tous ceux qui ont contribué à la réussite de ces recommandations pour l'exécution et qui les appliqueront dans la pratique.

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

Bruno Oberle
Sous-directeur



Littérature conseillée avec adresse de commande

Ce choix de textes de référence indique les documents les plus importants en matière de protection des sols contre les atteintes physiques ou chimiques.

adresse de commande **www.admin.ch/edmoz**

- Loi du 7 octobre 1993 sur la protection de l'environnement (LPE), (révision du 1er juillet 1997), RS 814.01
- Ordonnance du 1er juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol), RS 814.12
- Ordonnance du 10 décembre 1990 sur le traitement des déchets (OTD), RS 814.015
- Ordonnance du 26 août 1998 sur les sites contaminés (OSites), RS 814.680

adresse de commande **www.environnement-suisse.ch**

- OFEFP, Commentaires concernant l'ordonnance du 1er juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol), L'environnement pratique, Berne, 2001.
- OFEFP et FAL, Zurich-Reckenholz, Directives pour l'échantillonnage et l'analyse des polluants dans le sol (parution en 2002).
- OFEFP, Instructions pratiques pour l'évaluation et l'utilisation des matériaux terreux, Environnement pratique, Berne (remplace l'instruction pratique n° 4 de 1993), 2001.
- OFEFP, Directive pour la valorisation, le traitement et le stockage des matériaux d'excavation et déblais (Directive sur les matériaux d'excavation), Environnement pratique, Berne, 1999.
- OFEFP, Domaine sol, Informations EIE, n° 6, Berne, 1991.
- OFEFP, Vidéo «Construire en préservant les sols», Berne, 1999.

adresse de commande **www.energie-schweiz.ch**

- OFE, «Directives pour la protection des sols lors de la construction de conduites souterraines de transport (Directives pour la protection des sols, DPS)», Berne, 1997.

adresse de commande **www.vss.ch**

- OFROU, Rapport de recherche n° 245, «Manipulation des sols dans le génie civil», Ch. Salm & Stephan Häusler, Union des professionnels suisses de la route, Zurich, 1999.

adresse de commande **www.admin.ch/sar**

- FAL, IUL, FAW et RAC, Méthodes de référence des stations fédérales de recherches agro-nomiques, Zurich-Reckenholz, (mise à jour annuelle).
- FAL, Cartographie et estimation des sols agricoles, les cahiers de la FAL n° 24, Zurich-Reckenholz, 1997.

adresse de commande **www.be.ch/bve/umnet/index_f.html**

- Commission technique pour la reconstitution des sols du canton de Berne, «Fiche technique – relevés pédologiques pour les décharges et les sites d'extraction de matériaux», Berne - Zollikofen, 1995.
- Commission technique pour la reconstitution des sols du canton de Berne, «Fiche technique – pour la remise en culture de terrains reconvertis», Berne - Zollikofen, 1997.

adresse de commande
www.snv.ch

- SN 640 581a Terrassement, sol : Généralités et données de base, Union des professionnels suisses de la route (SNV), Winterthur, 1998.
- SN 640 582 Terrassement, sol : Inventaire de l'état initial / Tri des matériaux terreux manipulés, Union des professionnels suisses de la route (SNV), Winterthur, 1999.
- SN 640 583, Terrassement, sol : Emprises et terrassements, Union des professionnels suisses de la route (SNV), Winterthur, 1999.
- SN 533 205, pose de conduites et câbles souterrains, Union des professionnels suisses de la route (SNV), Winterthur, 2001.

adresse de commande
www.fsk.ch

- Association suisse des sables et graviers (ASG/FSK), Directives pour la remise en culture, Berne, 2001.

adresse de commande
www.umweltschutz.ch

- PUSCH/BGS, Protection des sols dans les communes – 9 champs d'action, Zurich, 2001.

adresse de commande
www.soil.ch

- Protection des sols contre les atteintes physiques. Stratégie pour la mise en œuvre des nouvelles prescriptions formulées dans la loi sur la protection de l'environnement (LPE) et l'ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol). Société suisse de pédologie, SSP/BGS, document n° 9, ISBN 3 260 05430 8, Zollikofen, 1999.

adresse de commande
<http://ppur.epfl.ch/domaines/7.html>

- Le sol vivant. J.-M. Gobat et al. collection Gérer l'environnement, n° 14, PPUR, 1998. Physique du sol, Musy et Soutter, PPUR, 1991. Cartographie des sols, J.-P. Legros, PPUR, 1996.

adresse de commande
combi.agri.ch/lmz

- Le sol, R. Flückiger et al. Centrale des moyens d'enseignement agricole, Zollikofen, 1994.

adresse de commande
www.inra.fr

- Guide des analyses en pédologie, Denis Baize, INRA Editions, 2000.

Les documents cités dans ce guide figurent dans l'annexe **Littérature citée** à la page 81, et sont mentionnés en accolades [] dans le texte.

Introduction

Ce guide de l'environnement vise à faciliter la mise en œuvre des articles 6 et 7 de l'ordonnance du 1^{er} juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol) [7].

Il traite de la protection de la couche supérieure du sol et du sous-sol (cf. schéma ci-dessous) lors de travaux de génie civil.

DÉFINITIONS

Pédologie

Protection qualitative des sols

Sol en place

Horizon A = Couche supérieure du sol contenant jusqu'à 30% de matière organique

Horizon B = sous-sol, il présente une structure bien développée et il est biologiquement actif. Il contient moins d'humus et de racines que l'horizon A

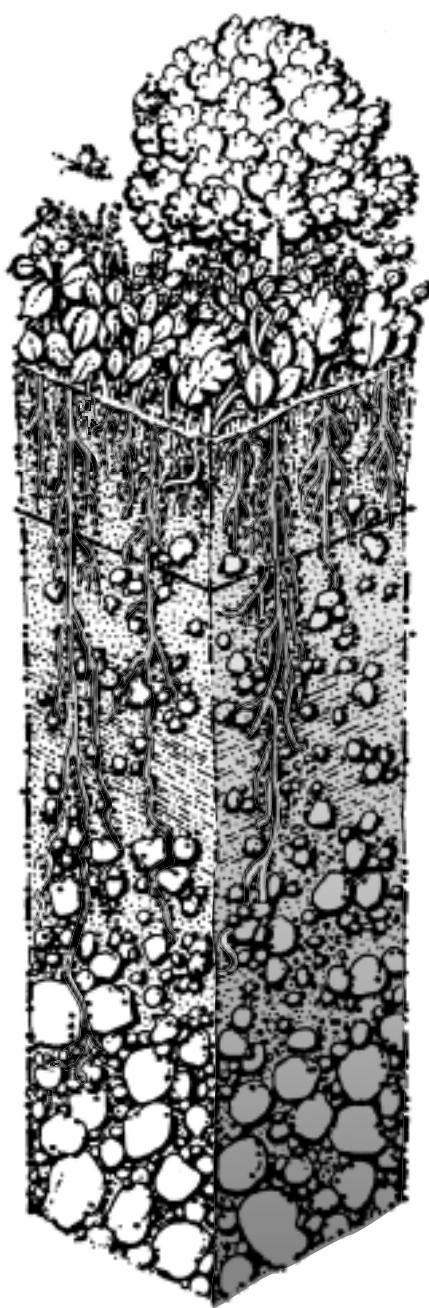
Horizon C = Matériau parental (sous-sol au sens géologique du terme), peu ou pas de racines, composé de sédiments meubles ou de roches fissurées

Couche supérieure du sol (épaisseur variant, en règle générale, de 5 à 30 cm)

Sous-sol

Limite d'enracinement = détermine selon la LPE [8] la limite entre le sol et les matériaux sous-jacents

Sol au sens de la LPE [8]



Représentation d'un profil de sol et des domaines d'application de diverses bases légales et informations pratiques (cf. Littérature citée, page 81).

Il consiste en une partie consacrée aux conseils pratiques pour la protection des sols lors de toutes les étapes d'un chantier, de la plani-

fication à la remise des terrains (fiche 0 à 6), et d'une autre partie consacrée au sol et à la science du sol, la pédologie (chapitres 1 à 8).

Génie civil et génie rural

Sol manipulé = matériaux terreux

Couche supérieure du sol
décapée (épaisseur variant,
en règle générale, de 5 à
30 cm) / matériaux terreux

Sous-sol excavé

(Lorsque l'épaisseur
de la couche et sa qualité
le permettent, prélever
et entreposer au moins
50 cm)

Matériaux terreux

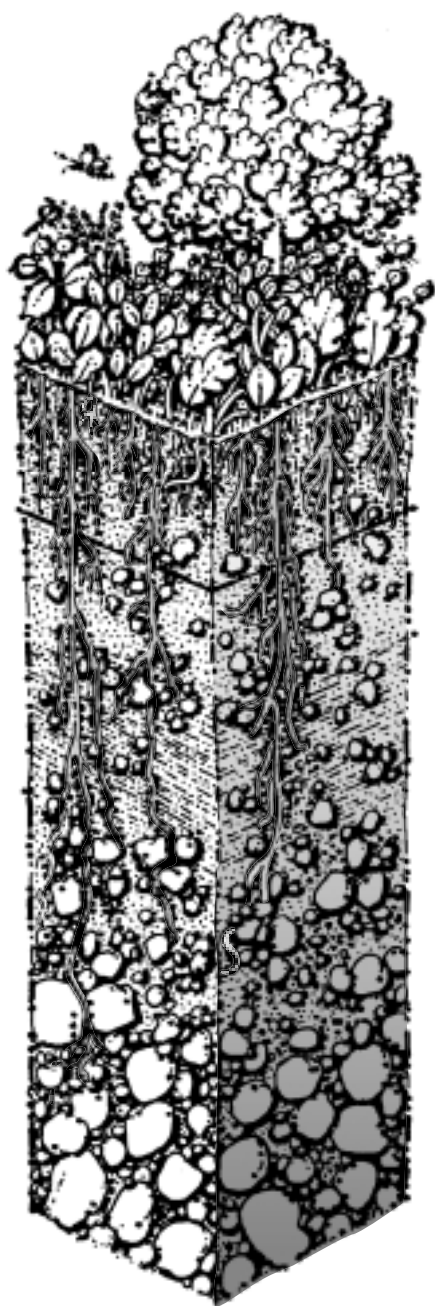
Instructions pratiques [2]

La limite d'excavation du
sous-sol réutilisable sera
fixée en fonction des objec-
tifs de restitution (épais-
seur du sol après
reconstitution)

Matériaux d'excavation

Directive sur les **matériaux
d'excavation** [9]

Domaine d'application
de ce guide



Représentation d'un profil de sol et des domaines d'application de diverses bases légales et informations pratiques (cf. Littérature citée, page 81).

Informations pratiques



La protection des sols sur les chantiers

Fiche 0

Sur les chantiers qui sont soumis à un rapport d'étude d'impact sur l'environnement (EIE), les travaux de terrassements et autres manipulations de sols (matériaux terreux) doivent, en règle générale, être supervisés par des spécialistes reconnus de la protection des sols sur

les chantiers (SPSC). Cette supervision par des SPSC, pour la protection des sols, au travail d'un organe de révision.

Le cahier des charges type d'un SPSC se présente comme suit :

Phase 1 : Projet et études préliminaires [2] :	Phase 2 : Construction et emprises :	Phase 3 : Remise en place et restitution :
- Mesures de protection des sols : Propositions pour protéger les sols sensibles à la compaction, adaptations ou modifications du plan des mesures et du projet. - Participation à l'attribution des travaux : Exigences posées au parc des machines, organisation des travaux, planning, interruptions pour mauvaises conditions météorologiques. - Gestion des matériaux terreux : Planification du tri des matériaux terreux, de leurs mouvements et de leurs entreposages. - Information des propriétaires et exploitants concernés sur la mise en herbe préalable des surfaces de terres ouvertes faisant partie des emprises du chantier.	- Information du personnel de chantier quant à la protection des sols et des mesures qui en découlent pour le chantier (cf. fiche 6). - Conseil de la direction du chantier pour toutes les questions de la protection des sols : Délimitation en quantité et en qualité des surfaces suffisantes pour l'entreposage des matériaux terreux (cf. fiche 3). - Accompagnement sur place des travaux de décapage. Rédaction des règles de travail et mise en œuvre d'éventuelles mesures de protection des sols. - Participation à toutes les réunions de chantier en rapport aux sols, surveillance indépendante du planning des travaux, présence et contrôle préventif pour toutes les phases des travaux touchant aux sols. - Pendant la phase de construction, information des services cantonaux chargés de la protection des sols sur le déroulement des travaux et sur le respect des mesures prescrites pour protéger les sols.	- Supervision des remises en place en tenant compte du respect des valeurs de force de succion prescrites (cf. fiche 2 et 6). - Restitution des parcelles de sol reconstitué (remise d'ouvrage) en présence de représentants du constructeur, du maître de l'ouvrage et des propriétaires/exploitants, avec protocole de restitution (cf. fiche 4). - Accompagnement des travaux de réparation d'éventuels dégâts (sous-solage, drainage, etc.). - Instruction de l'exploitant sur les règles culturelles à observer pour assurer une bonne restructuration des sols remis en place (cf. fiche 5). - Restitution définitive des parcelles, évaluation de l'état obtenu par rapport à l'état initial (test à la bêche, cf. fiche 5) et libération pour une utilisation normale.

Cahier des charges des spécialistes responsables de la protection des sols sur les chantiers [6].

Pour des projets de petite envergure, non soumis à une EIE, le cahier des charges SPSC pourra être adapté et allégé.

L'état initial

Règles et méthodes

Fiche 1

La caractérisation de l'état initial du sol est obligatoire pour les projets qui sont soumis à un rapport d'étude d'impact sur l'environnement (EIE).

Interventions de longue durée (catégorie A)

Pour ces interventions de longue durée sur des surfaces clairement délimitées, où les matériaux terreux sont en général entreposés une ou plusieurs années avant d'être utilisés pour une reconstitution du sol suivie d'une remise en culture (exemples : gravière, carrière, tunnel en tranchée à ciel ouvert, et autres

gros chantiers), on exige une carte des sols exécutée selon la méthode de Reckenholtz [1].

Interventions de courte durée (catégorie B)

Pour les interventions de courte durée, en général il s'agit des chantiers en ligne, une carte des sols ne convient pas et il faut cartographier les emprises du tracé et les installations de chantier. On cartographie le tracé par sections. Les résultats de la cartographie sont représentés et décrits en lots bien délimités et cohérents du point de vue pédologique, sur des cartes synthétiques du tracé. Les moyens auxiliaires et les critères d'appréciation sont identiques à ceux qui sont utilisés pour établir une carte des sols.

Installations	Mesures	Carte Pédologique	Carte de sections	Test à la bêche (comparaison)	Analyse de terre*	Mesures physiques**
Grands chantiers (route/rail)						
Gravières, carrières, glaisières						
Décharges et remblais						
Conduites souterraines						
Reconstitutions de sols						
Nivellements importants						
Constats d'atteintes existantes						
Atteintes dues à l'exploitation						
Apports de sol ou de substrats						
Utilisation de matériaux terreux hors du chantier						

* Polluants, granulométrie, M.O.

** Masse volumique, précompaction, etc.

Aperçu des méthodes destinées à établir l'état initial des sols [4].

Légende

La détermination de l'état actuel est, en règle générale, exigée dans le cadre de la procédure d'EIE/APG ou peut être exigée pour établir la réalité de demandes de dédommagements.

Ces mesures peuvent être utilisées pour une évaluation plus détaillée, dans le cadre d'expertises ou de comparaisons.

Sols pollués

(investigations complémentaires)

Lorsque le sol est manipulé, il faut tenir compte de l'instruction pratique de l'OFEFP «Évaluation et utilisation des matériaux terreux» [2]. Le sol en place qui va être manipulé doit être analysé si l'on soupçonne qu'il puisse être pollué. Si une pollution est avérée, c'est l'instance cantonale chargée de la protection qualitative du sol qui décide de la suite des opérations. Pour des projets de la catégorie A, l'examen d'éventuelles pollutions fait obligatoirement partie de la description de l'état initial.

Démarche pratique

L'appréciation du sol en profondeur, ou sa description pédologique, se fait en général à l'aide d'une tarière à main (tarière Edelman ou gouge), jusqu'à une profondeur d'un mètre environ, pour autant que les pierres ne fassent pas obstacle. Sur la base des informations ainsi obtenues (sondage pédologique), on dresse une description détaillée du sol, sous la forme d'un levé de terrain.

Catégorie A

En fonction de la topographie du lieu et de la variabilité des types de sol que l'on s'attend à trouver, on sondera tous les 25 à 50 mètres sur le tracé.

L'aspect et la couleur des horizons du sol donnent des indications sur le développement, l'épaisseur et la perméabilité du sol.

On estime la texture du sol (nature du sol) par test tactile [3]. On peut également constater les signes caractéristiques de régimes d'eau et d'air perturbés (engorgement, taches de rouille, coloration grise, odeur).

La présence de carbonates peut être vérifiée à l'aide de l'acide chlorhydrique (HCl) et le pH peut être approximativement déterminé, sur la base d'une échelle colorimétrique, à l'aide d'un réactif liquide ou de bâtonnets.

Les types de sols identifiés sont regroupés en unités pédologiques et leurs surfaces délimitées par unité cartographique, en général à une échelle de 1 : 5'000 [4].

Pour chaque unité cartographique définie, on creuse un profil pédologique. C'est seulement dans un profil qu'on peut discerner et apprécier de manière fiable les aspects morphogénétiques des sols : la structure du sol, sa pierrosité, les migrations des éléments fins (argiles), certaines réactions chimiques, la profondeur de l'enracinement, l'activité biologique (vers de terre), l'épaisseur d'un sol et les limites de ses horizons. Ces données sont reportées sur une fiche de description du profil pédologique type de l'unité cartographique. On prélève également des échantillons des horizons du profil pour des analyses chimiques et physiques en laboratoire [4].

Catégorie B

Pour des chantiers en ligne, comme par exemple la pose d'une conduite de gaz, on formule des exigences un peu différentes pour la cartographie. Elles se trouvent dans des directives spécifiques [5].

En premier lieu, on relève des caractéristiques visibles importantes pour le chantier, comme les pentes longitudinales et transversales, les glissements de terrain, les sorties d'eau et les mouilles locales, les zones de pierrosités importantes, etc.

Puis, à l'aide de la tarière, on définit l'épaisseur de la couche supérieure du sol (profondeur du décapage), le régime hydrique (perméabilité et ressuyage), la profondeur d'altération (sols superficiels ou profonds), la nature du sol (sensibilité au compactage).

Les relevés sont décrits par sections sur une carte synthétique du tracé mettant en évidence des caractéristiques importantes pour la planification du chantier, la sensibilité des sols au compactage et les mesures de protection qu'il faudra prendre [4, 5].

Fiche 1

Type de sol [cf. chapitres 3 et 4]	Sensibilité du sol à la compaction	Sensibilité aux contraintes
• sols organiques • fréquemment engorgés jusqu'en surface • avec nappe perchée, mais rarement saturés jusque à la surface, ou sols riches en argiles et en silts	extrêmement sensible	• risque permanent de compaction • de faibles charges peuvent déjà causer des dégâts persistants
• sous influence d'eaux de pente ou souterraines, mais rarement saturés jusqu'à la surface • sols ayant plus de 50% de silt et moins de 10% d'argile sous influence d'eaux de pente ou souterraines et de nappes perchées	très sensible	• mis à part lors de périodes de sécheresses prolongées, très sensibles aux atteintes physiques • choix limité de machines engageables
• sols sous l'influence d'eaux de pente ou souterraines et de nappes perchées • sols ayant plus de 50% de silt et moins de 10% d'argile et un régime hydrique et une aération équilibrés	normal	• très sensibles aux atteintes physiques en périodes de pluies prolongées ainsi que durant le repos de la végétation • les périodes où les sols sont bien ressuyés doivent être exploitées au maximum • prudence maximale pour rouler dessus
• sols ayant un régime hydrique et une aération équilibrés, une structure stable (à l'exclusion des sols silteux ayant plus de 50% de silt et moins de 10% d'argile)	peu sensible	• en général peu sensibles lorsque les sols sont bien ressuyés • niveau de précaution normal
• sols ayant une pierrosité de plus de 50% • sables riches en graviers et en pierres ayant moins de 50% de silt et moins de 10% d'argile	très peu sensible	• peu sensibles à la compaction • supportent en général bien les contraintes mécaniques • niveau de précaution normal

Classification des degrés de sensibilité à la compaction [4].

Catégories A et B

L'évaluation de la sensibilité au compactage des sols se base sur des paramètres relevés dans le cadre de la cartographie des sols. La classification par degré de sensibilité se présente de la manière suivante:

On peut exiger, à titre préventif, le constat d'éventuels dégâts, par exemple dus au travail du sol ou à des systèmes de drainage non entretenus, ou encore à des interventions antérieures (p. ex. pose de conduites), lors des travaux de cartographie des sols dans le but de produire un relevé qui permette de vérifier le bien-fondé de toute réclamation survenant après la restitution des parcelles. L'appréciation d'une remise en culture achevée (contrôle de la bonne facture, p. ex. après l'exploitation d'une gravière) peut également être exigée [6].

Charge en polluants

Selon l'OSol du 1^{er} juillet 1998, les atteintes physiques et chimiques portées aux sols doivent être surveillées et évaluées [7]. Cette ordonnance découle des articles 29, 33, 35 et 39 de la loi fédérale sur la protection de l'environnement (LPE) du 7 octobre 1983, révisée en 1995 [8]. La directive sur les matériaux d'excavation (1999) [9] traite uniquement de la valorisation du sous-sol compris au sens géologique du terme (horizon C).

Pour l'évaluation et la mise en valeur de matériau terreux (horizon A et B), c'est l'instruction pratique de l'OFEFP «Evaluation et utilisation des matériaux terreux» (2001) [2] qui est applicable. Elle remplace l'information OSol n° 4 (1993) qui a dû être adaptée à l'évolution de la législation. L'instruction pratique contient des valeurs d'appréciation pour la charge en polluants, elle fixe quand et comment les sols en place doivent être examinés et établit comment le sol déplacé (matériaux terreux) peut être utilisé ou mis en décharge.

La manipulation des matériaux terreux

Introduction

Le décapage et l'excavation d'un sol (sol au sens de l'OSol qu'il ne faut pas confondre avec le sous-sol non altéré) doivent être considérés à juste titre comme une intervention de génie civil, car le sol en place est arraché à sa situation naturelle. La fertilité d'un sol peut ainsi être gravement menacée, ce qui va à l'encontre du principe fondamental de la LPE [8].

De ce fait, la manipulation des matériaux terreux doit être liée à un permis de construire. En vue de maintenir la fertilité du sol, on applique le principe selon lequel on ne peut manipuler des matériaux terreux sans l'exis-

tence d'un permis de construire en règle, et que la nécessité de procéder à des décapages doit être démontrée, en particulier pour des interventions de courte durée comme la pose de conduites.

Si l'on soupçonne que les matériaux terreux sont contaminés, il faut procéder à des analyses de polluants des surfaces à décapier, au moins par un échantillonnage représentatif [voir également fiche 1 «L'état initial»].

L'instruction pratique de l'OFEFP «Evaluation et utilisation des matériaux terreux» [2] donne

Type de chantier et manipulation de la couche supérieure du sol [6].

Type de chantier	Enherber le sol, ne pas le décapier	Décapier et réutiliser de suite	Décapier et entreposer	Décapier et exporter
Prélèvement de matériaux en continu (enherbement)		Ne redéposer que sur des sous-sols préalablement enherbés.	Hauteur de tas, cf. fiche 3, ne pas rouler dessus.	
Prélèvement de matériaux par tranche (remise en état directe)		Redéposer sur la tranche restituée (sous-sol redéposé) et enherber.		
Chantiers importants: routes, voies ferrées, etc.			Décapier les surfaces excavées et les pistes. Ne pas décapier les surfaces d'entreposage.	En cas d'emprises définitives, pour autant qu'il y ait des surplus.
Décharges de matériaux excavés, remblayages			Décapier les décharges et les accès, ne pas décapier les surfaces d'entreposage.	
Conduites souterraines	Décapage limité à la fouille.		Déposer directement la couche supérieure et le sous-sol sur le sol enherbé.	
Lignes aériennes et poteaux	Piste posée directement sur le sol enherbé, décapage limité aux fondations.			

des indications quant à la valorisation des matériaux terreux ou à leur mise en décharge définitive.

De plus, nombre de cantons mettent à disposition diverses fiches et directives de chantier, contenant des informations et prescriptions plus détaillées sur la manipulation des matériaux terreux [voir également la littérature conseillée aux pages 6 et 7].

Le décapage est une atteinte

Le décapage des matériaux terreux prive le sol de sa couche protectrice principale. Le sous-sol est plus instable et après décapage il reste exposé sans protection aux influences météorologiques. L'activité biologique dans le sol se concentre dans les couches proches de la surface, lesquelles sont en général assez stables, même momentanément dépourvue de couverture végétale protectrice, pour résister à l'érosion hydrique ou éolienne. Dans les terres arables utilisées de manière intensive, par exemple dans les loess qui ont une faible teneur en matière organique, la couche supérieure du sol lorsqu'elle est dépourvue de couverture végétale est exposée aux dangers de l'érosion au même degré que le sous-sol laissé nu.

Les effets négatifs du décapage sont aggravés lorsque les matériaux terreux ne sont pas remis en place directement et ensemencés, mais qu'ils subissent un stockage intermédiaire de plus ou moins longue durée.

Le test de la stabilité structurale dans l'eau est très démonstratif de la sensibilité aux intempéries d'un sous-sol mis à nu :

On dépose avec précaution dans un bocal rempli d'eau une motte de terre provenant de la couche supérieure du sol et dans un deuxième bocal on procède de même avec une motte du sous-sol. Alors que la motte de la couche supérieure reste longtemps intacte, celle provenant du sous-sol se délite très rapidement.

Choix de la période d'intervention

Lorsqu'une manipulation d'un sol est indispensable, il faut au moins prendre toutes les dispositions afin que le sol vivant n'en souffre pas trop. Par principe, le sol doit être complètement ressuyé au moment de l'intervention; il doit être si possible remis en place directement et dans tous les cas ensemencé immédiatement. Dans les interventions de courte durée, comme par exemple pour la pose de conduites, on peut éventuellement renoncer à l'ensemencement. Les mauvaises herbes (adventices) qui s'installent doivent être fauchées avant la montée à graine (pas de traitement herbicide!).

C'est pendant la période de végétation que les conditions sont réunies pour travailler des sols ressuyés et pour une repousse rapide de la couverture végétale. Cette période est plus longue en plaine qu'en montagne. Tous les travaux de manipulation des matériaux terreux doivent être prévus pour les mois d'été.

Le sol a souvent tendance à être plus sec à la fin de l'automne qu'au début de l'été, et dans ce cas, on peut encore travailler en octobre dans de bonnes conditions. Pour réussir l'installation d'une prairie permanente, il ne faut pas la semer au-delà de la mi-août. Lorsque des ensemencements plus tardifs s'imposent, il faut prévoir une céréale d'automne (p. ex. seigle à faucher en vert).

Humidité du sol

En aucun cas, on ne doit circuler sur la couche supérieure du sol et sur le sous-sol lorsqu'ils sont détrempés, ni les décapier, ni les déplacer, ni les mettre en stockage intermédiaire, ni les remettre en place. L'humidité du sol encore tolérable pour les travaux dépend de la nature du sol (teneur en argile), ainsi que du poids et de la pression au sol des machines et des véhicules engagés. Ce n'est pas la teneur en eau absolue qui fournit la base de mesure opportu-

ne, mais la force de succion (appelée également tension hygrométrique). La force de succion permet d'évaluer quels types de pores sont encore remplis d'eau, ou déjà ressuyés. Dans le génie civil, c'est plutôt la valeur pF [cf. chapitre 7.2] qui est usuelle pour exprimer la force de succion; par contre dans la pratique agricole, c'est la force de succion qui est mesurée aux champs en centibars à l'aide de tensiomètres. Le tableau ci-après indique les relations qui peuvent être établies entre les valeurs de référence les plus importantes pour les deux types de mesures.

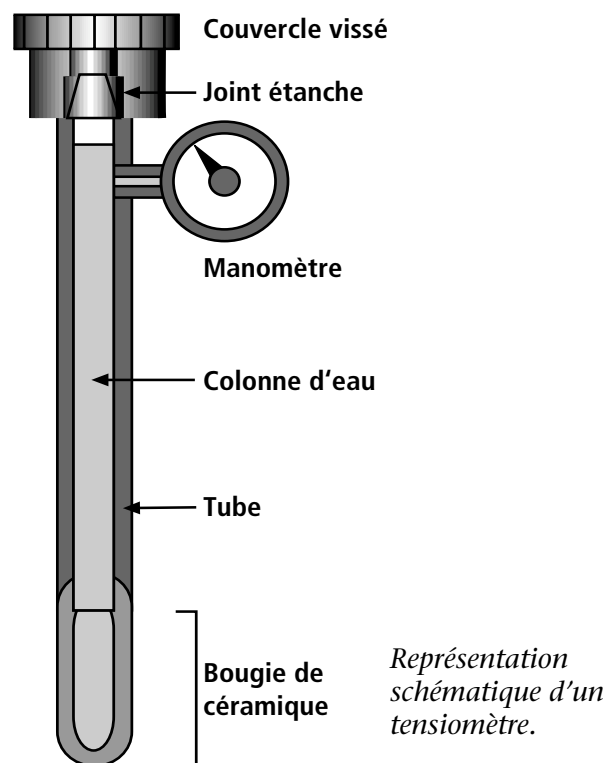
Fiche 2

pF	Cb	Ressuyage d'après les pores
1,8	6,3	Pores grossiers ressuyés
2,0	10	Pores > 30 μm ressuyés
2,5	31,5	Pores > 10 μm ressuyés
2,7	50	Pores > 06 μm ressuyés
2,8	63	Pores > 05 μm ressuyés
2,9	80	Limite de mesure du tensiomètre
4,2	1500	Tous les pores moyens sont ressuyés (Point de flétrissement permanent)

Au-dessous de la valeur de pF 2, il ne faut pas tolérer la mise en service de machines de chantier. A partir d'un pF 2,5 – en employant des machines de chantier usuelles à chenilles – des dégâts importants ne sont généralement plus à craindre. A partir d'un pF 2,8, le sol peut supporter des machines de chantier lourdes.

Mesures avec des tensiomètres (cf. chapitre 8.2)

La mesure de la force de succion à l'aide d'un tensiomètre est une méthode éprouvée de longue date et qui est utilisée dans la pratique, p. ex. pour l'irrigation des cultures. Les tensiomètres sont donc disponibles sous toutes sortes de formes, allant jusqu'à l'appareil à lecture digitale, relié à des mémoires électroniques. Pour l'emploi sur un chantier, c'est l'appareil à manomètre, simple et robuste, qui convient. Il est bon marché et indépendant d'une source d'électricité.



Mise en place

Pour une mesure fiable, il faut mettre en service une batterie de cinq tensiomètres par site de mesure, l'hétérogénéité du sol pouvant créer de fortes variations. Les tensiomètres sont installés de telle sorte que l'extrémité de la bougie poreuse soit à 35 cm de profondeur, dans un orifice foré exactement à la dimension du tube. Pour obtenir un bon contact

avec le sol, il faut mélanger la terre extraite à de l'eau et verser une fraction de cette bouillie dans le trou avant d'installer l'appareil. Après l'installation de l'appareil, on répand encore autour du tube un peu de poudre d'argile et on la tasse, afin d'empêcher l'eau de s'infiltrer le long du tube et de perturber le résultat des mesures. Un manchon de caoutchouc qui adhère bien au tube empêche également l'infiltration de l'eau de pluie.

Relevés et mise en valeur des résultats

Un jour plus tard, on peut se mettre à relever les forces de succion. On tire la valeur médiane des résultats de chaque groupe de tensiomètres. Les relevés doivent se faire quotidiennement ou du moins à intervalles toujours constants, et toujours au même moment de la journée, de préférence le matin. Le relevé simultané des pluviomètres fait partie de cette démarche.

Entretien

Le tube du tensiomètre est rempli d'eau. Lorsque la force de succion est élevée, supérieure à 80 centibars par exemple, il peut se produire une chute soudaine et complète de la tension (appelée « désaturation »). Les tensiomètres désaturés doivent être ouverts et rechargés d'eau dégazée (de préférence bouillie). L'air résiduel dans la partie horizontale de l'embranchement vers le boîtier du manomètre doit être purgé à l'aide d'une pompe à vide, car une partie de la force de succion est absorbée par effet de coussinet d'air, et les résultats des mesures peuvent être perturbés. En aucun cas, il ne faut secouer les tensiomètres installés.

Pour l'utilisation en hiver, on doit rajouter un antigel à l'eau dans les tensiomètres

Entreposage

On ne doit pas laisser sécher les tensiomètres qui ont servi, car les pores de la bougie poreuse seraient alors colmatés par les sels dissous dans l'eau du sol. Ils doivent être entreposés

dans un local à l'abri du gel, dans de l'eau distillée ou déminéralisée (de l'eau de pluie propre convient également), jusqu'au prochain emploi. Il faut enlever la saleté et les dépôts d'algues avant de les entreposer. Après un entreposage hivernal, il est indiqué de faire un contrôle soigneux de leur fonctionnement avant de les remettre en service.

Fiche 2

Profondeur de décapage

Dans le profil d'un sol bien développé, on distingue en gros trois couches (horizons A, B et C). Ces horizons sont séparés par des transitions progressives ou une succession nette des couches, et sont par conséquent plus ou

moins faciles à reconnaître. Suivant la roche-mère et le type de sol, une coloration nettement différenciée des couches nous aide à identifier la succession des horizons.

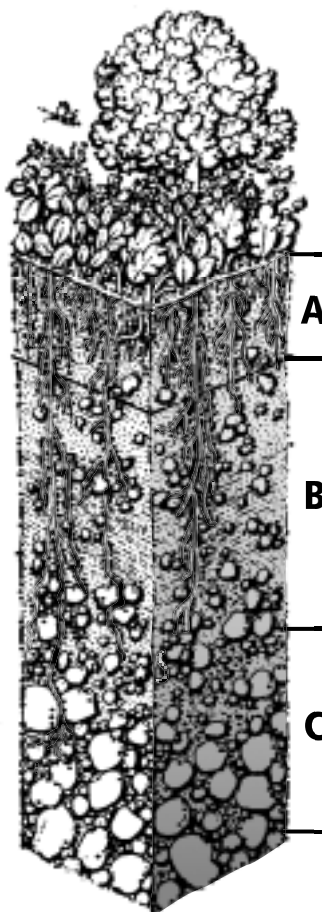


Schéma d'un sol avec trois horizons distincts (sols ABC) : l'horizon supérieur A, l'horizon du sous-sol B et le matériau parental de l'horizon C. Dans les sols bruts, la couche supérieure du sol (A), contenant de l'humus et habitée par des êtres

vivants, se trouve directement sur la roche-mère nonaltérée (sols AC). Ce type de sols se rencontre aussi bien sur de la roche ferme (dalles) que sur les sédiments meubles constitués d'argiles, de marnes, de silts, de sables ou de graviers.

La couche supérieure du sol

L'horizon A est clairement reconnaissable dans le profil grâce à sa coloration foncée. Il est actif du point de vue biologique et, comparé au sous-sol, présente une teneur en humus élevée. En règle générale, il est colonisé par un réseau dense de racines et parcouru de galeries de vers, et par conséquent forme une couche assez meuble. Dans les terres arables, l'horizon A est assimilé à la couche labourée.

Sous-sol

(au sens pédologique du terme)

L'horizon B sous-jacent est constitué d'un matériau minéral altéré présentant une teneur en humus beaucoup moins élevée. C'est pour quoi sa couleur est moins foncée. Mais dans sa partie supérieure au moins, il est encore bien colonisé par les racines et également actif du point de vue biologique. Vers le bas, il évolue de manière plus ou moins marquée vers l'horizon C, non-altéré; sur la roche et le gravier, la transition est plus reconnaissable que sur des colluvions ou des loess, dépourvus de pierre.

Qualité des matériaux terreux

Outre les critères pédologiques présentés ci-dessus, la qualité des matériaux décapés en tant que matériaux terreux joue un rôle très important. Les critères définissant cette qualité sont décrits dans la fiche 1. Cette dernière indique de manière détaillée la marche à suivre pour établir l'état initial et la qualité des sols. Dans l'esprit d'une protection du sol optimale, il faut veiller à ce que les matériaux terreux de toutes les catégories puissent être utilisés de manière rationnelle.

Procédés et machines

Le choix et l'utilisation adéquate des machines de chantier et les procédés préconisés auront une influence primordiale sur la réduction des impacts d'interventions de génie civil sur le sol, en particulier sur le compactage.

En fonction de la topographie et de la surface à décapier, de la distance entre le chantier et le site d'entreposage, les bouteurs/niveleuses à chenilles, les draguelines ou les décapeuses légères à benne sont les machines qui conviennent le mieux.

En raison de la mauvaise répartition de la pression au sol (faible surface de contact) ou de leur médiocre efficacité (rapport poids de la machine au volume décapé), les chargeuses à pneus ou à chenilles sont à proscrire, de même que les bobcats, les chargeurs frontaux des tracteurs ou les pelles mécaniques à pneus.

Limite d'engagement

La force de succion admissible pour une utilisation des machines qui ménage le sol peut être calculée de manière individuelle pour chaque machine. Elle indique la force de succion à partir de laquelle on peut circuler sur un sol sans pour autant lui porter atteinte de façon persistante [cf. chapitre 7 des informations générales].

Au-dessous de 10 cbar de force de succion, aucune machine de chantier ne doit être mise en service.

La mesure de la force de succion doit se faire à l'endroit où on roulerait sur le sol après un décapage de l'horizon A, c.-à-d. à 35 cm de profondeur. Même si la couche supérieure du sol est ressuyée, le sous-sol peut être encore très engorgé.

Influence du type de sol

Il est important de tenir compte également du type de sol. Pour les sols avec une teneur en argile élevée (>30%), il faut majorer de 10% la force de succion admissible calculée.

Passages répétés

Dans le cas de va-et-vient ou de passages répétés sur le même emplacement, l'effet de compactage augmente très rapidement lorsque la force de succion diminue. En situation limite, ces types de travaux de chantier (outils poussant ou prélevant la terre, va-et-vient et roulage) doivent être arrêtés.

Calcul de la force de succion admissible

La force de succion admissible peut être calculée individuellement pour chaque machine équipée de chenilles, si le poids (avec chargement) et la pression au sol par cm² (avec chargement) sont connus.

Formule pour le calcul de la force de succion admissible en centibars:

Poids x pression à la surface du sol x 1.25
(tonnes) (bars)

Cette formule n'est pas utilisable pour les véhicules à pneus. Les formules correspondantes pour les véhicules agricoles à pneus se trouvent au chapitre 7.

L'entreposage des matériaux terreux

Prescriptions

Dans nombre de cantons, il existe des prescriptions sur l'entreposage des matériaux terreux, en particulier de la couche supérieure du sol. Elles indiquent la hauteur maximale des tas (dans la plupart des cas entre 1,5 et 2,5 m). Encore faut-il distinguer entre le tas de terre déposé encore meuble et le tas de terre raffermi. Ces instructions exigent en général que la terre soit mise en tas à reculons, c.-à-d. sans rouler sur le matériau déposé. Des normes et directives pour les dépôts de matériaux terreux ont été également élaborées par la VSS (Union des professionnels suisses de la route), l'ASG/

FSK (l'Association suisse des Sables et Graviers) et la SSP/BGS (Société Suisse de Pédologie).

Pour les reconstitutions ultérieures du sol, il faut pouvoir disposer en quantité suffisante non seulement de la couche supérieure du sol, mais aussi de matériaux du sous-sol correspondant (horizon B). Des normes concernant le stockage intermédiaire de la couche supérieure et du sous-sol figurent dans le tableau ci-dessous.

La présente fiche vise à compléter les normes et prescriptions existantes. Des variantes dans la recherche de solutions optimales, qui prennent en considération le type de sol et ses caractéristiques, sont tout à fait possibles.

Fiche 3

Type de matériaux terreux :	Hauteur du tas non tassé :	Force de succion à respecter pour décaper et mettre en tas :	Mesures généralement applicables :
Couche supérieure du sol pour entreposage court (< 1 an)	≤ 2.5 m	sableux: > 25 centibars argileux: > 35 centibars	- Toujours décaper et entreposer la couche supérieure et le sous-sol séparément. - Entreposage sur des surfaces bien perméables, non sensibles au tassement. Ne pas décaper les sols. - Ne jamais rouler sur les tas et ne pas les pâturer. Enherber les tas avec des plantes à enracinement profond.
Couche supérieure du sol pour entreposage long (> 1 an)	≤ 1.5 m	sableux: > 25 centibars argileux: > 35 centibars	
Sous-sol: fortement à extrêmement sensible au tassement [4]	≤ 1.5 m	> 35 centibars	
Sous-sol: normalement à faiblement sensible au tassement [4]	≤ 2.5 m	> 25 centibars	
Sous-sol: peu sensible au tassement [4]	> 2.5 m	> 15 centibars	

Mesures pour l'entreposage de divers matériaux terreux (hauteurs et forces de succion) [6]

Effets de l'entreposage

La couche du sol proche de la surface et bien aérée s'est formée grâce à une intense activité biologique. Le métabolisme chimique de cette couche se déroule dans des conditions aérobies, et la formation de l'humus et des complexes argilo-humiques est une propriété caractéristique de cette zone bien oxygénée.

A partir de cette couche, les racines des plantes, les vers de terre et d'autres organismes du sol pénètrent toujours plus profondément au travers d'autres horizons. Mais la porosité, la teneur en humus et l'activité biologique diminuent sensiblement avec la profondeur.

Si l'on entasse la couche supérieure d'un sol, on voit apparaître des «signes d'asphyxie» tout d'abord à l'intérieur du dépôt, c.-à-d. dans le noyau qui est le plus éloigné de l'air extérieur. Dans des conditions anaérobies, les organismes aérobies du sol sont asphyxiés, et on voit apparaître des processus de putréfaction qui produisent des gaz putrides ou du méthane. Lorsque le dépôt est repris, on constate également une coloration grisâtre et souvent une odeur pénétrante de putréfaction (odeur de boues d'épuration).

En créant des tas de forme trapézoïdale et en limitant leur hauteur, on essaye de réduire au minimum ou d'éviter l'apparition d'un noyau central anaérobie dans le tas.

Les couches profondes à l'intérieur du tas sont soumises à une pression statique due au poids de la terre. Sous cette contrainte les pores grossiers, qui garantissent l'aération de la terre, disparaissent en premier. Puis le sol situé sous le dépôt est également légèrement compacté, et forme une dépression où l'eau s'accumule et remonte par capillarité dans le tas qu'elle peut détrempier.

Il faut donc définir une stratégie de protection des sols pour l'entreposage des matériaux terreux. Plus le stockage intermédiaire est destiné à se prolonger, plus il est important de res-

pecter cette stratégie. Dans chaque cas, il convient de mettre au point, parmi les possibilités à disposition, la variante qui combine le plus grand nombre de facteurs dont l'influence est positive.

Mise en place des dépôts

Les dépôts seront planifiés et mis en place en tenant compte de leur durée et des caractéristiques des matériaux terreux.

Entreposage de courte durée (catégorie A)

Le délai de construction, donc d'entreposage des matériaux terreux ne dépassera pas un an, p. ex. pour la pose de conduites, la construction de chemins et de canalisations, etc.

Entreposage de longue durée (catégorie B)

Il est destiné en général à durer plusieurs années, comme c'est le cas par exemple sur les gros chantiers, dans l'exploitation de gravières et de carrières de sable et d'argile, et dans des décharges pour déchets à ciel ouvert.

Forme et réalisation

Du point de vue de la forme du dépôt, on peut opter soit pour un andain trapézoïdal allongé, non cultivé, soit pour un dépôt étalé en surface plane utilisable par l'agriculture.

Les principes de protection du sol émis ci-dessus sont applicables de cas en cas pour les stockages de courte durée (cat. A), par contre ils sont impératifs pour la catégorie B.

Evacuation des eaux météoriques

Le dépôt doit être réalisé de manière à ce que les eaux de surface puissent s'écouler librement et ne s'accumulent pas au pied du dépôt (dépôt sur une croupe, éventuellement sur un lit de gravier).

Le dépôt ne doit en aucun cas être réalisé dans une dépression ou sur un sol imperméable.

Fiche 3

Aération

Le dépôt doit permettre une circulation de l'air dans sa masse entière. C'est pourquoi il doit être mis en place quand la terre est ressuyée et ne pas être soumis au passage répété des machines. La distance entre le noyau central du dépôt et sa surface doit être réduite au minimum (forme trapézoïdale aiguë). Pour les dépôts étalés en surface plane, il faut limiter l'épaisseur du dépôt.

Pente

Les dépôts en surface plane doivent être créés de manière à ce que leur surface présente une pente de 5% au minimum, afin que l'eau de pluie puisse ruisseler sans entrave et ne pénétre pas dans le dépôt.

Enherbement

Il faut enherber le dépôt immédiatement après sa mise en place et procéder à des ensemencements par étapes pour des dépôts d'une certaine importance. Pour cela, il faut semer un mélange de longue durée trèfle violet – graminées – luzerne dont les racines colonisent profondément le sol. Les racines maintiennent l'activité biologique du sol. L'évapotranspiration sous couverture végétale peut atteindre en été 5 litres d'eau par m² et par jour, ce qui maintient au sec le dépôt.

Sous-sol (horizon B)

Les principes énumérés ci-avant sont également applicables aux dépôts pour le sous-sol (horizon B), excepté pour la forme et la hauteur du tas. En raison de leur perméabilité structurelle, des matériaux purement minéraux provenant de sous-sols constitués de graviers sableux pourraient être stockés en tas très élevés, mais le sol en place sous le dépôt serait alors compressé par cette trop grande charge. Ces matériaux perméables conviennent particulièrement bien à la reconstitution des sols dans nos régions pluvieuses. En revanche les sols très argileux ou les sous-sols contenant une part importante de matière organique sont moins adaptés. La relation entre le type de sol et l'aptitude au stockage est directement applicable aux matériaux terreux du sous-sol [voir *Mesures pour l'entreposage de divers matériaux terreux (hauteurs et forces de succion)*, page 22].

Type de sol et hauteur du tas

La relation entre le type de sol et les propriétés physiques d'un sol est exposée en détail dans la partie générale de ce guide pratique. Les normes concernant la hauteur du tas admissible, peuvent être tirées du tableau sur les mesures pour l'entreposage, page 22. L'humidité du sol au moment de sa mise en dépôt joue un rôle plus important que le type de sol. Les sols argileux sont très sensibles au compactage s'ils sont humides. Les sols organiques sont sensibles à l'asphyxie lorsque leur humidité est élevée. Les sols silteux sont sensibles à l'érosion, ils faut veiller à les enherber dans les meilleurs délais ou à les couvrir de nattes si des orages sont à craindre durant la période de stockage. La forme du tas joue également un rôle. Il faut être attentif aux risques de confusion entre les normes de hauteur de tas pour des matériaux terreux fraîchement déposés et pour un tas raffermi.

Dépôts étalés en surface plane

Les dépôts intermédiaires de durée moyenne à longue, prévus pour plusieurs années, de couche supérieure sur un support perméable

(sol de gravière) peuvent avoir une hauteur d'env. 1,5 m, à condition que des végétaux comme un mélange trèfle violet-luzerne-graminées maintiennent le sol en activité.

Les dépôts étalés de moyenne durée, exploités par l'agriculture, comme par exemple pour des bourses aux terres d'un chantier de grande importance, peuvent même atteindre la hauteur maximum de 2,5 m dans de bonnes conditions (stockage de courte durée, type de sol adapté, région pauvre en précipitations).

Dépôts en andain

Ces dépôts ne sont généralement pas exploités, mais uniquement fauchés en cas de nécessité (p.ex. lors de l'apparition de plantes adventices). Ils sont aussi aérés latéralement et pénétrés par les racines jusqu'à une certaine profondeur. Des essais ont montré que dans les matériaux terreux déposés en andains, les deux premières années, il se forme une zone d'asphyxie qui croît depuis la base, mais qui ensuite régresse sensiblement suite à une restructuration du sol, due essentiellement à la croissance des racines et à l'activité des vers de terre. Dans un profil trapézoïdal, la pression due à la charge du matériau entassé se divise par deux. Un sol sec peut donc exceptionnellement être entassé sur une hauteur allant jusqu'à 2,5 m (mesure sur la terre meuble).

Machines et procédés

En fonction du procédé choisi, le sol sera décapé et déposé latéralement en une seule opération avec la même machine, par exemple pour la pose de conduites. En revanche si le matériau terreux doit être déplacé sur des distances importantes, il doit être chargé et déversé dans un camion ou un tombereau. On déplace directement le matériau terreux avec une excavatrice et une décapeuse à chenille lors de corrections morphologiques importantes ou de travaux d'assainissement.

Dans tous les cas, le sol doit être déposé avec précaution et ne doit pas être soumis au passage des machines. C'est pourquoi les boteurs/niveleuses et les décapeuses à chenilles peuvent être utilisés en cas de nécessité pour le transport, mais en aucun cas pour la création d'un dépôt de terre.

Pour égaliser des dépôts étalés, on ne peut utiliser que des niveleuses automotrices légères (de moins de 15 tonnes) à chenilles adaptées pour les sols organiques (pression au sol $< 200 \text{ g/cm}^2$).

Principes généraux

De manière analogue à la remise en place d'un sol, pour la création de dépôts intermédiaires de matériaux terreux en forme d'andain ou étalés en surface plane, les principes suivants sont applicables :

- Dans un terrain en pente, on doit toujours travailler de haut en bas, de manière à ce qu'il n'y ait pas d'accumulation d'eau de pente.
- Il ne faut jamais déposer de la terre sur un support détrempé. Des dépressions de la surface de stockage nivelée, dans lesquelles l'eau pourrait s'accumuler, doivent être égalisées avec du matériau perméable.
- Les dépôts qui viennent d'être créés ne peuvent être nivelés qu'avec les boteurs/niveleuses à sols organiques les plus légers, en réduisant au minimum le nombre de va-et-vient.
- L'ensemencement avec un mélange trèfle violet-luzerne-graminées doit être effectué sans délai, si nécessaire par étapes.

Mesures complémentaires

En principe, il faut travailler de manière à ce que des mesures complémentaires soient superflues. Dans des cas exceptionnels, celles-ci peuvent contribuer à l'élaboration de solutions compatibles avec la protection du sol et de l'environnement. Quelques solutions possi-

bles et éprouvées sont décrites ci-dessous. Ces mesures concernent surtout l'entreposage de longue durée de matériaux terreux.

Drainage

En situation défavorable, en particulier dans les pentes, où existe un risque d'accumulation d'eau, on recommande d'installer un dispositif favorisant l'infiltration de l'eau. Le captage des eaux de ruissellement en amont du dépôt est plus efficace que l'installation d'une couche sous-jacente de gravier coûteuse qui doit généralement être encore protégée de l'envasement par un géotextile de séparation.

Aération

Dans le cas où le stockage intermédiaire doit atteindre une hauteur plus grande que prévu, des tuyaux d'aération peuvent être installés à l'intérieur du tas. Ces derniers doivent se recouper dans les deux sens, en particulier dans la partie inférieure, de manière à garantir la pénétration de l'air également dans le noyau central.

Protection contre les éboulements

Là où le dépôt par manque de place doit être en pente raide, p. ex. pour l'entreposage intermédiaire d'un sous-sol qui s'y prête bien, les bords du dépôt peuvent être stabilisés et protégés contre les éboulements par la plantation de buissons pionniers à fort enracinement. Suivant les conditions locales il s'agira de plantations de boutures d'osier, d'aulne, ou de coudrier, de jeunes plants de robinier, d'argousier, de prunellier, d'épine blanche, etc. en plantation directe ou de rejets avec racines.

La remise en place

Importance et mise en œuvre

Cette fiche décrit la procédure de remise en place de matériaux terreux en vue de l'utilisation agricole des sols reconstitués après des inter-

ventions de génie civil de longue durée. Elle est mise en œuvre là où la couche supérieure du sol et le sous-sol (horizon B), après décapage et entreposage, doivent être remis en place et «réactivés» biologiquement. Les étapes de la reconstitution et remise en culture se déroulent généralement de la manière suivante:

- | | | |
|--|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Convention avec l'exploitant/propriétaire. 2. Finition de l'aplanissement (remblai nivelé). 3. Drainage du remblai : <ul style="list-style-type: none"> - Réglage de la pente. - Mise en place d'aménagements facilitant l'infiltration et l'écoulement. - Mise en place d'un système de drainage. 4. Reconstitution des sols avec des machines adéquates et dans des conditions de resuyage favorables.

 <p>Pour des sols reconstitués destinés aux grandes cultures, les règles suivantes seront observées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mise en place d'un sous-sol sur une épaisseur d'au moins 80 cm. - Semis d'un engrais vert, si le sous-sol a été entreposé durant plus d'une année. | <ul style="list-style-type: none"> - Mise en place de la couche supérieure d'une épaisseur de 30 à 35 cm (durant la période de juin à août qui suit l'année de l'éventuel semis d'un engrais vert sur le sous-sol). <ol style="list-style-type: none"> 5. Protocole de restitution (réception de l'ouvrage), en présence du spécialiste chargé de la protection des sols sur le chantier, de représentants du maître d'œuvre, de la direction des travaux et de l'exploitant/propriétaire, en vue de définir les dégâts ou défauts à réparer : <ul style="list-style-type: none"> - Protocole de réception [6]. - Test à la bêche [fiche 5]. - Convention sur le type et la durée de la remise en culture/exploitation avec le propriétaire et l'exploitant. 6. Si nécessaire, réparation des dégâts ou défauts constatés (p. ex. par des sous-solages, des drainages ou épierrages). 7. Tous les sols reconstitués doivent faire l'objet d'une exploitation extensive et douce [fiche 5]. | <ol style="list-style-type: none"> 8. Restitution finale/évaluation (idem chiffre 5) : <ul style="list-style-type: none"> - Protocole de la restitution après remise en culture. - Evaluation de l'état obtenu, év. comparaison avec l'état initial [4] : test à la bêche, év. test au pénétromètre, volume des pores grossiers, taux d'infiltration et/ou conductivité hydraulique à l'état saturé (chapitre 8). - Ev. appel à l'appréciation du service cantonal de la protection des sols. 9. Ev. réparation/élimination des dégâts ou défauts (cf. chiffre 6). 10. Restitution de la parcelle pour une exploitation normale. <p>Selon le cas considéré, certaines étapes peuvent être ignorées!</p> |
|--|--|--|

Fiche 4

Procédure de reconstitution et de restitution des sols temporairement occupés [6]

La remise en culture peut se faire directement avec des matériaux terreux qui viennent d'être décapés. C'est le cas par exemple lorsque des gravières sont exploitées par étapes. La tranche exploitée est immédiatement remblayée et elle reçoit directement le sous-sol (horizon B) et la couche supérieure du sol fraîchement décapés de la nouvelle tranche mise en exploitation.

Limitation des décapages

Fiche 4

Là où les sols ont été décapés, il est, en général, obligatoire de les reconstituer ou remettre en culture. C'est pourquoi il est préférable, lors d'une intervention de génie civil, de s'assurer dans quelle mesure il est vraiment nécessaire de décapier.

Pour les chantiers de type linéaire, le décapage de la couche supérieure du sol de la piste de travail et de transport, qui se pratiquait auparavant, n'était justifié que dans des cas exceptionnels et impliquait de coûteuses remises en culture.

Il ne faut, en règle générale, décapier que les surfaces qui sont directement excavées. Il faut également prendre en compte la sensibilité des sols à la compaction dans la délimitation du tracé de la ligne. Les tronçons critiques qui subsistent doivent être protégés d'un compactage excessif à l'aide de moyens auxiliaires appropriés, p.ex. piste en rondins ou en gravier. Lorsqu'une prairie est mise en place avant l'intervention, le sol se rétablit après les travaux sans intervention supplémentaire dans la plupart des cas.

Mise en place directe

Lorsqu'un sol est arraché à sa situation naturelle et remis en place immédiatement, ses propriétés ne sont que peu modifiées, ce qui n'est pas le cas s'il est repris d'un dépôt qui a duré plusieurs années. On peut donc renoncer à l'activation biologique préalable par cou-

ches, c.-à-d. que l'enherbement du sous-sol avant la mise en place de la couche superficielle du sol n'est pas nécessaire. Il faut s'assurer si une mise en place directe de la couche superficielle du sol et du sous-sol décapés, en d'autres termes la reconstitution définitive d'un sol est possible dans un autre site, afin d'éviter de passer par un stockage intermédiaire des matériaux terreux. Les manipulations supplémentaires de déchargement et de chargement au dépôt impliquent non seulement une augmentation des frais, mais aussi une sollicitation mécanique accrue du sol.

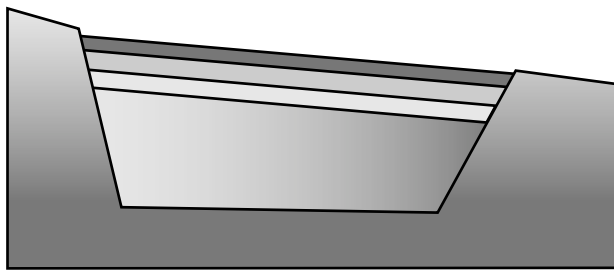
Système en deux phases

Ce système correspond à un procédé en deux phases avec un enherbement intermédiaire du sous-sol, avant la mise en place de la couche superficielle du sol. Il faut choisir ce procédé lorsque le sous-sol doit être repris à partir d'un dépôt, et qu'il faut assurer sa restructuration et son activation biologique à l'aide de plantes pionnières ayant un enracinement fourni et développé. L'enherbement intermédiaire est indiqué également pour des terrains où le sous-sol a été soit découvert (suite à un décapage) et laissé nu, soit recouvert temporairement d'une couche de gravier pour servir de piste ou d'installation de chantier. Logiquement, il faut également recourir à cette technique pour la remise en culture de routes, de chemins et de places consolidées. Ce procédé impose un délai d'une année jusqu'à la reconstitution définitive du sol, étant donné qu'il est rarement possible durant la même période de végétation de réaliser à la fois l'ensemencement intermédiaire du sous-sol, la remise en place de la couche supérieure du sol et la remise en culture.

Les étapes successives d'une reconstitution et d'une remise en culture intégrale, comme elle se réalise p. ex. à la fin de l'exploitation d'une gravière, sont décrites ci-après.

Matériaux de comblement

Un bon sol ne peut se développer et se conserver que sur un support drainant. Un sol influencé par une nappe perchée est défavorable pour la croissance des plantes et par conséquent, son aptitude à être exploité est limitée. Les sols qui doivent être remis en place après l'exploitation d'une gravière se trouvaient à l'origine sur un support perméable où ils ont pu se développer et former des sols bruns lessivés fertiles (chapitre 3). C'est pourquoi, dans ces cas-là, une remise en culture adéquate est extrêmement difficile, les matériaux de comblement étant souvent peu drainants ou imperméables.



	Couche supérieure		Matériaux de comblement
	Sous-sol		Couche d'infiltration
	Sol en place		

Représentation schématique – inspirée de diverses directives et normes – d'un remblayage, suivi d'une reconstitution du sol et d'une remise en culture

En mettant en place une couche drainante de gravier lavé, on essaye de diriger l'eau d'infiltration le long d'une pente régulière créée au-dessus des matériaux de comblement, vers une couche perméable qui existerait en aval. L'épaisseur minimale prescrite de cette couche, en règle générale de 15 cm, est toutefois insuffisante lorsque :

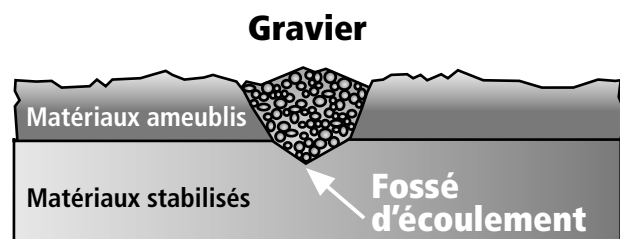
- la distance à parcourir est trop longue (résistance à l'écoulement)
- la surface de la décharge n'est pas absolument régulière (interruption de l'écoulement)
- les matériaux terreux remis en place sont instables (battance)

En outre, cette couche drainante est souvent formée de matériaux lavés grossiers (graviers d'infiltration). L'eau peut certes circuler facilement dans ces graviers, mais l'absence de pores fins dans la couche de gravier empêche l'eau gravitaire de la couche de sol remis en place de s'y écouler (zone d'accumulation au-dessus du niveau de rupture de la continuité capillaire). La force capillaire la retient dans le sol.

Il faut tout d'abord vérifier si le remblai est imperméable et s'il doit le rester (décharge confinée de déchets) ou s'il peut éventuellement être ameubli et rendu perméable (essais d'infiltration) avant la mise en place du sous-sol.

Si ce n'est pas le cas, il faut étudier où se dirigeront les eaux de ruissellement et d'infiltration, et si elles peuvent être collectées et déversées dans un fossé d'évacuation des eaux à ciel ouvert. La configuration de la surface des matériaux de comblement et de la parcelle reconstituée doivent prendre en compte les futurs écoulements.

L'installation de canaux d'écoulement superficiels (fossés à ciel ouvert) et de bassins de rétention pour l'eau excédentaire peuvent être inclus dans la planification comme des atouts supplémentaires. Ils peuvent être reconnus en tant que nouvelles surfaces de compensation écologique.



Des aménagements favorisant l'infiltration et l'écoulement des eaux peuvent être conçus de manière à économiser les matériaux de qualité, tout en livrant un bon résultat.

Mise en place du sous-sol

Suivant le procédé choisi et la distance de transport, le sous-sol est amené par camion, tombereau ou décapeuse à chenilles et réparti avec une excavatrice ou un boteur/niveleuse. Dans des conditions favorables (sol sur lequel repose le dépôt bien ressuyé, sous-sol sec, machines adaptées et légères et machinistes expérimentés), le remblai peut être mis en place directement avec la décapeuse à chenilles.

Fiche 4

Les matériaux terreux provenant d'autres sous-sols n'entrent en considération pour la reconstitution d'un sol que s'ils sont adaptés à la couche supérieure. Il ne faut pas utiliser des matériaux terreux très argileux ou tourbeux.

Enherbement intermédiaire

On ameublit et égalise le sous-sol remis en place avec des outils agricoles, et on l'ensemence. Le lit de semence ne devrait pas être préparé trop finement car le sous-sol tend en général à la désagrégation et à la battance. La formation d'une croûte en surface empêcherait une bonne levée de la semence. Par contre dans un lit de semence préparé très grossièrement, une partie des graines se perd parce qu'elle descend trop profondément entre les mottes grossières. On recommande donc en général de majorer la dose normale de semis de 50 % pour les semis dans des sous-sols.

Des analyses de disponibilité des éléments nutritifs sur des échantillons de terre pris au dépôt donnent des indications sur la dose et la composition d'une éventuelle fumure de fond. Il faut être prudent avec les apports d'engrais organiques comme le fumier et le compost, dans la mesure où les organismes vivants du sol capables d'assurer les processus de décomposition ne sont pratiquement pas présents dans le sous-sol. Toutefois, des matières organiques actives, comme du fumier décomposé par voie aérobie ou du compost incorporé en surface, peuvent améliorer sensi-

blement les conditions de démarrage. Par contre, le purin et les boues d'épuration sont à proscrire.

Choix de la culture pionnière

Diverses directives recommandent l'utilisation de radis fourrager, de moutarde et de chou de Chine, en raison de leur enracinement. Mais ces plantes ne sont pas adaptées à tous les types de sol. Suivant le type de sol, le pH et le climat, d'autres plantes pionnières se développent tout aussi bien. A tous points de vue, les mélanges offrent plus de sécurité que les semis purs. Toutefois certaines plantes supportent difficilement la concurrence dans un mélange et ne lèvent pas. En semis pur en revanche, elles peuvent se développer très fortement et rapidement.

Mise en place de la couche supérieure du sol

La mise en place de la couche supérieure du sol se fait en général l'année qui suit l'enherbement intermédiaire, exceptionnellement la même année lorsque le sol est bien ressuyé, mais au plus tard début août. Si la culture intermédiaire s'est développée fortement, elle doit être fauchée et broyée (faucheuse à fléaux, faucheuse à mulching) sur place avant la poursuite de la reconstitution du sol.

En règle générale, il n'est pas nécessaire de broyer les cultures non hivernantes gelant sur pied (sorgho, tournesol, sarrasin, radis fourrager).

Si les résidus végétaux sont incorporés au terrain par le passage d'une bêcheuse ou d'un incorporeur type MM100, il est inutile de les enlever. Mais les amoncellements éventuels de végétaux doivent être éparpillés avant la pose de la couche supérieure du sol (la formation de ce qu'on appelle des «matelas» doit être évitée).

La couche supérieure du sol peut être amenée et déposée de plusieurs manières. On doit circuler le moins possible avec les machines sur le sous-sol déjà colonisé par les racines et uniquement s'il est bien ressuyé.

Travail du sol et semis

L'épaisseur de terre meuble doit être d'au moins 25-30 % plus élevée que l'épaisseur visée après raffermisssement. Il est cependant peu indiqué de déposer une couche supérieure du sol de plus de 40 cm d'épaisseur (exception: bourse des terres). La couche supérieure du sol mise en place doit laisser pénétrer l'air jusqu'au sous-sol biologiquement activé. Si nécessaire, un sous-solage au moment de la préparation du lit de semence peut faciliter l'aération du sol.

Le lit de semence préparé de cette manière est ensemencé d'un mélange trèfle violet-luzerne-graminées de longue durée (de préférence inoculer la luzerne avec une préparation de bactéries) et exploité pendant trois ans au moins avec ménagement [v. fiche 5 «La mise en culture»].

La mise en culture

Objectif

Pour les projets soumis à étude d'impact sur l'environnement (EIE), on règle par contrat avec les propriétaires concernés le problème de la remise en culture, de sa durée et des indemnités pour les pertes de rendement qui en résultent.

Le but de la mise en culture est de favoriser une activité biologique qui mette en route et soutienne une stabilisation et une restructuration des sols abîmés et instables.

Fiche 5

Phase verte de courte durée

La phase de mise en culture est indiquée partout où le sol en place a été compacté et doit être soumis à un sous-solage profond (p. ex. pose de conduites sans décapage de la couche supérieure du sol de la piste de circulation et de travail). Dans ce cas, une phase de restructuration, sous forme d'une prairie exploitée extensivement pendant au moins une année, est nécessaire avant de reprendre la parcelle dans une rotation normale des cultures.

turation, sous forme d'une prairie exploitée extensivement pendant au moins une année, est nécessaire avant de reprendre la parcelle dans une rotation normale des cultures.

Mise en culture pluriannuelle

Dans tous les cas où le sol a été arraché à sa situation naturelle et qu'en conséquence on a dû recourir à un enherbement intermédiaire du sous-sol, la durée de la période de mise en culture doit être prolongée (p. ex. mise en culture après l'exploitation d'une gravière, pose d'une conduite avec décapage des pistes de circulation). Une période de végétation ne suffit pas pour rétablir et pour stabiliser les conditions d'équilibre dans un sol fraîchement déposé. Trois années complètes représentent un minimum pour cela. Des expériences faites dans des situations peu favorables avec des sols sensibles ont montré que dans bien des cas, cinq ans, exceptionnellement dix ans, étaient insuffisants pour obtenir la consolidation souhaitée dans le sol.

Les mesures proposées ci-après concernent la remise en culture pluriannuelle de sols fraîchement reconstitués destinés à la culture (après la remise de l'ouvrage) et visent à assurer une bonne re-structuration des sols (remise en culture avant la restitution des

parcelles aux exploitants et le passage à une utilisation normale) :

- Ne rouler sur un sol qu'à l'état sec et avec des machines légères
- Éviter de travailler le sol
- Installer des plantes à enracinement profond (trèfle violet, luzerne)
- Produire du fourrage sec (foin, regain)

- Pas de fertilisation azotée, pas de lisiers et purins, pas de traitement herbicides en pleine surface
- Éviter les coupes précoces et trop basses
- Proscrire le pacage
- Prévoir une durée d'utilisation prolongée pour obtenir un effet restructurant maximal (4 ans entre la remise de l'ouvrage et la restitution).

Mesures préconisées pour une remise en culture pluriannuelle [6]

Principes généraux

Le but d'une mise en culture soignée est de rétablir dans un sol reconstitué les fonctions nécessaires à la fertilité du sol. Les objectifs principaux sont :

- La stabilisation de la structure du sol grâce à l'armature vivante des racines. Ainsi, la portance et la résistance aux passages sur le sol est améliorée.
- L'évaporation de l'eau excédentaire.
Une prairie prélève en une seule journée d'été jusqu'à 5 litres d'eau au m².
- La colonisation biologique de mottes inertes et compactes grâce aux radicelles et l'ap-provisionnement du sol en azote. Les bactéries présentes dans les racines de la luzerne fixent jusqu'à 170 kg d'azote de l'air par ha et par an.
- L'activation de la pédofaune, en particulier des vers de terre, qui outre le creusement des galeries qui servent de pores grossiers, sont importants aussi et surtout pour la formation du complexe argilo-humique (agrégats).

Pour atteindre ces objectifs, il est nécessaire de convaincre l'exploitant que pendant la phase de mise en culture, ce n'est pas la maximisation du rendement, mais l'optimisation des conditions de vie pour les plantes et la faune du sol qui a la priorité absolue. C'est pourquoi il est indispensable de régler à l'avance les questions liées à la remise en culture et aux indemnités pour perte de rendement.

Fertilisation

A la base, la fumure se fait en fonction de la disponibilité des éléments nutritifs déterminée auparavant par une analyse de terre. L'échantillon à analyser comprendra au moins quinze prélèvements répartis sur la surface remise en culture. Si l'on se trouve des inégalités de

terrain à l'intérieur de la parcelle à analyser, il faut échantillonner séparément ces surfaces. Il est recommandé de procéder à une analyse complète et de déterminer aussi bien les éléments nutritifs solubles à l'eau que les réserves.

Pas ou peu d'azote

En règle générale, les doses de fumure azotée doivent être faibles. Les cultures trop bien nourries ne développent pas un réseau racinaire dense; un enracinement profond se réalise lorsque la plante doit rechercher ses éléments nutritifs et son eau dans le sol. Pour favoriser le développement de la luzerne, il faut renoncer à toute fumure azotée.

Fumure organique

Les engrais organiques sous forme de fumier mûr ou de compost seront apportés à dose modérée et finement incorporés. Ils sont bien tolérés par les vers de terre et favorisent leur développement. Grâce à l'activité de bioturbation et de consommation des vers, la terre minérale fine se mélange intensivement à la matière organique dans leur tube digestif et forme des précieux complexes argilo-humiques (agrégats).

Pas de purin

Le purin non dilué porte atteinte à la population de vers de terre. Ces précieux auxiliaires ne peuvent pas s'échapper dans leurs galeries creusées verticalement, et sont brûlés. De plus, la croissance des graminées est favorisée par le purin, et celles-ci concurrencent et font disparaître la luzerne. Il faut renoncer à épandre du purin, du lisier ou des boues d'épuration pendant la phase de mise en culture. On peut cependant tolérer de faibles doses de lisier complet bien aéré et non corrosif à partir de la deuxième année de culture.

Exploitation

L'année du semis, une coupe d'automne est indiquée pour les semis précoces, et une coupe de nettoyage pour les semis plus tardifs. La matière verte fauchée – de peu de volume – est laissée au champ et éparpillée sur la surface. Ne jamais faucher la luzerne trop tôt ou trop bas.

Fourrage sec ou ensilage

Dès la deuxième année, une fauche régulière pour produire du fourrage séché au sol est indiquée. C'est avec ce type d'utilisation que les risques de compactage du sol sont les plus faibles. Si on veille strictement à n'intervenir que sur un sol ressuyé et portant, on peut tolérer également l'ensilage.

Pas de fauche en vert, ni de pâture

Durant cette phase, il faut renoncer à la fauche en vert et à la pâture. Des coupes fréquentes nuisent à la luzerne et au trèfle violet. Elles impliquent également des passages fréquents avec un risque accru de compaction du sol. La pâture cause des dégâts de piétinement. La luzerne et le trèfle violet, qui sont précieux en raison de leurs racines profondes, sont également rapidement éliminés par la pâture.

Contrôle de la qualité

Pendant la période de remise en culture, tous les défauts comme les mouilles, l'asphyxie, etc., sont décelables grâce aux modifications du comportement des plantes. Après une remise en culture soigneusement exécutée, la couverture végétale devrait normalement se développer régulièrement et, avec le temps, devenir toujours plus vigoureuse. Des irrégularités marquées dans la couverture végétale sont le signe de défauts qui, dans tous les cas, doivent être corrigés par des interventions supplémentaires comme un sous-solage ou un drainage.

Contrôle des teneurs en éléments nutritifs

Après deux à trois ans de remise en culture, l'approvisionnement en éléments nutritifs doit être de nouveau contrôlé à l'aide d'analyses de sol, sur des échantillons de terre prélevés selon le même protocole indiqué précédemment. Pour garantir la comparabilité des résultats, ces analyses doivent être confiées au même laboratoire. L'interprétation des résultats devrait avoir lieu en collaboration avec un expert agricole.

Le test à la bêche

Le test à la bêche consiste à prélever une tranche de sol jusqu'à une profondeur de 45 cm à plusieurs endroits, également à l'extérieur de la surface remise en culture, ou à proximité immédiate. Ce mini-profil est examiné soigneusement de haut en bas. On note les observations par tranches de 5 cm (voir formulaire page 35).

Les caractéristiques suivantes méritent d'être relevées :

- la résistance à la pénétration (degré de compaction),
- la régularité et la profondeur de l'enracinement (colonisation),
- la présence et l'activité de la pédofaune (en particulier les vers de terre),
- la forme et la stabilité des mottes (grumeaux),
- l'activité de décomposition également dans les zones profondes (observe-t-on encore des reliquats de la culture pionnière du sous-sol ?),
- la consistance de la couche et l'aération (les mottes se brisent-elles facilement, y a-t-il des zones asphyxiées qui puent et dont la coloration est marquée ?).

Normalement, le test à la bêche fait partie des tâches attribuées aux spécialistes de la protection des sols lors de la procédure de contrôle à la restitution d'importantes surfaces reconstituées.

Test à la bêche

Type de sol

Caractéristiques	Profondeur utile en cm							
	05	10	15	20	25	30	35	40
Etat général du sol								
meuble, grumeleux	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
durci, ferme, pris en masse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
MO non transformée	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Odeur								
agréable, odeur de terre fraîche	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
puante, fécale	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
inodore	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Couleur								
chaude, régulière	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
pâle, mouchetée	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Structure des mottes								
friable, grumeleuse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
cassante, anguleuse	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Enracinement								
fourni, régulier	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
seulement dans les fissures et les galeries de vers de terre	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
absent	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Vers de terre								
visible, actif	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
pas manifeste	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Analyse sommaire:

Recommandations

Surface du sol		Mesures	
☐ meuble, grumeleuse		☐ aucune	
☐ battante/croûtée		☐ herser/sous-soler	
☐ érodée		☐ enherber	
Humidité du sol/état		Eviter les compactions	
☐ sec/en masse durcie		☐ traficable, mais ne pas travailler trop finement	
☐ frais/friable-émiettable		☐ travaillable, mais ne pas rouler dessus	
☐ humide/plastique ou pétrissable		☐ ni travaillable, ni traficable	
Aération/activité biologique		Activation	
Odeur, couleur, décomposition de la MO		Installer des herbages	
☐ verte et bleue/putride/résidus de récolte		☐ travailler des sols bien ressuyés/semis direct	
☐ résidus de récolte pas transformés		☐ travail superficiel du sol	
Autres informations (culture en place, peuplement, mouilles, etc.)			
Date:		Signature:	

Fiche 5

Transition vers une rotation des cultures

En trois ans de remise en culture, un sol ne peut en aucun cas rétablir pleinement la stabilité de sa structure. On doit tenir compte de cet état de fait lorsqu'on réintroduit ces parcelles dans un assolement.

Il faut donc renoncer dans les années qui suivent aux cultures sarclées qui sollicitent fortement le sol, comme les pommes de terre et les légumes de plein champ, et aux cultures qui se récoltent tard, comme les betteraves sucrières et le maïs. Il faut préférer à cela une rotation axée sur les céréales avec l'introduction aussi rapide que possible d'une prairie artificielle.

Fiche 5

Il est peu raisonnable de consacrer beaucoup d'efforts à mettre soigneusement en place des matériaux terreux, pour ensuite les compacter en profondeur par une exploitation inadéquate. Ceci d'autant plus, que dans la mesure où un ameublissement profond est encore réalisable, les frais de remise en état seront élevés. Le sous-solage n'est pas un remède au compactage. C'est une intervention assez brutale qui vise à créer les conditions nécessaires à la restructuration d'un sol abîmé. Cette intervention ne doit en aucun cas être considérée comme une méthode culturale qui peut être renouvelée indéfiniment.

La prévention du compactage

Circulation sur le sol lors de travaux de génie civil

Lors de l'exploitation des sols, pour les récoltes et les transports, il faut passer sur les terres agricoles et les sols forestiers. La mécanisation croissante de ces travaux a déjà provoqué certaines atteintes physiques aux sols. Celles-ci ont été identifiées et ont été traitées dans le cadre des nouveaux articles relatifs à la protection mécanique du sol dans l'ordonnance sur les atteintes portées au sol (OSol, art.7).

Lorsqu'il faut circuler sur le sol pour réaliser des interventions de génie civil, les conditions qui prévalent sont généralement différentes. Les différences pratiques les plus importantes par rapport à l'exploitation agricole consistent en général dans le fait que :

- la couche supérieure du sol est souvent préalablement enlevée sur une grande surface et entreposée en tas (décapage),
- les travaux de terrassement nécessités par le projet sont exécutés en toutes saisons et s'étendent sur plusieurs mois,
- les passages ne sont pas uniques comme pour la préparation du sol ou la récolte, ils sont répétés et s'effectuent souvent dans la même trace,
- dans la plupart des cas, ce sont des machines et des véhicules lourds qui sont mis en service,
- ce sont toujours des matériaux qui pèsent très lourds comme des matériaux d'excavation, des éléments de construction, du gravier ou du béton qui doivent être déplacés.

Les travaux de génie civil, surtout les travaux pour les transports d'énergie et les voies de communication, exigeront également à l'avenir une occupation temporaire de vastes surfaces de terres agricoles ou forestières. Nous allons présenter quelques mesures de la protec-

tion physique des sols qui devraient être utiles pour planifier et exécuter de façon optimale ces travaux de génie civil.

Préservation de la fertilité du sol

L'objectif principal et primordial consiste à préserver à long terme la fertilité du sol [cf. chapitre 1 des informations générales]. Il faut éviter que des atteintes mécaniques fassent perdre au sol ses qualités naturelles de milieu pour la croissance des plantes. Il faut ménager l'équilibre du sol dans sa structure naturelle et éviter toute compaction inutile ou toute atteinte aux horizons (couches naturelles) du sol.

On peut atteindre ce but en appliquant les principes suivants :

- ne circuler sur le sol que s'il est bien ressuyé et suffisamment portant,
- éviter des trajets inutiles,
- ne mettre en service que des machines et des procédés adaptés,
- réduire au strict minimum la surface soumise à des atteintes mécaniques (emprise),
- éviter tout déplacement inutile de matériaux terreux, en particulier le décapage,
- ne jamais laisser le sol sans couverture végétale, c.-à-d. nu et sans protection.

Ces principes doivent impérativement faire partie intégrante de l'avant-projet, du projet principal et de sa planification dans le temps, ainsi que quant aux appels d'offre correspondants. Leur mise en œuvre doit être contrôlée sur le chantier. En règle générale, cela implique la surveillance du chantier sur place par un spécialiste reconnu de la protection des sols [cf. Fiche 0].

L'application pratique de chaque principe est décrite brièvement ci-dessous, dans la mesure où cela est nécessaire. Des informations plus détaillées figurent dans les chapitres de la *partie générale* de ce guide pratique.

Sol ressuyé

Un sol ressuyé est plus portant. C'est la force de succion, mesurée avec des tensiomètres, qui sert de critère d'évaluation à la portance. Une placette de mesure est composée de cinq tensiomètres. La valeur qui fait foi est la valeur médiane des cinq valeurs relevées individuellement. On ne doit pas circuler sur des sols dont la force de succion est inférieure à 10 centibars.

Choix des machines

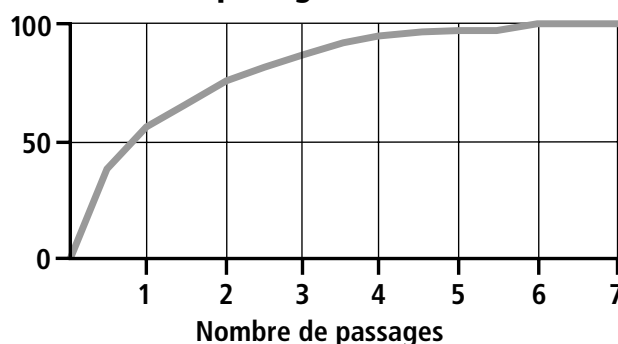
Les machines adaptées sont celles qui sont aussi légères que possible, avec une bonne répartition du poids et une faible pression au sol. Les trains de roulement larges et longs présentent une pression au sol plus faible. Les machines bien conçues peuvent atteindre sans problème des périodes d'utilisation deux fois plus longues que la normale, en particulier dans les phases où le sol est relativement humide.

Le nomogramme présente à gauche la pression au sol admise en g/cm² et le poids des machines en tonnes (t) pour une force de succion donnée en centibars (cbar en bas). Ce permet de démontrer qu'en doublant la surface de portance d'un buteur pesant 16 t avec une pression au sol de 1000g/cm², il peut déjà être mis en service dès 10 cbar, au lieu de 20 cbar.

Fréquence des passages

Chaque phase de travail doit être planifiée de manière à être réalisée avec le moins de passages possible. C'est la multiplication des passages qui provoque en grande partie le compactage.

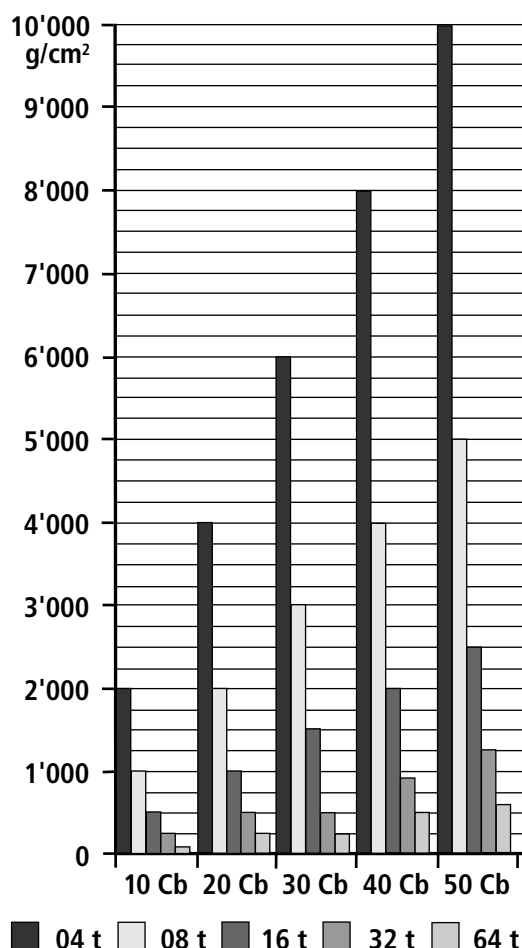
Niveau de compactage



Compactage en relation avec la fréquence des passages

Ce sont principalement les véhicules à pneus (camions de chantier, bennes à pneus) qui présentent les risques les

plus élevés de compactage. Leur emploi sur des sols en place devrait être évité le plus possible. Des forces de succion inférieures à 20 cbar ne sont, en général, plus admissibles pour des passages répétés sur des sols argileux (teneur en argile > 30%), car un sol dans cet état d'humidité est plastiquement déformable. Là où un passage répété du même tronçon est inévitable, il faut établir une piste pour les transports avant le début des travaux (p. ex. piste en rondins ou en gravier).



Réduire les emprises

Il faut toujours limiter autant que possible les surfaces touchées par le chantier. Pour de grands chantiers, comme par exemple la pose de pipelines, il faut adapter la technique de construction en conséquence. Pour les remblayages et les remises en culture, il faut planifier les pistes d'accès de manière à ce qu'elles puissent être ameublées sur toute leur surface avant la remise en place du sous-sol et de la couche supérieure du sol.

Pas de décapage inutile

Le décapage systématique de la couche supérieure du sol avant l'intervention de génie civil dans le terrain a certes une longue tradition. De nombreux propriétaires sont encore convaincus du bien-fondé de cette mesure (argument choc: diminution des pertes en humus). Or, les décapages pour des raisons de protection du sol ne sont défendables que pour des sols très superficiels.

En particulier lorsqu'il s'agit de rouler sur le sol pour un nombre de passages limité, il est préférable de laisser en place la couche supérieure du sol comme couche de protection. Celle-ci présente, en raison de son activité biologique, une capacité de régénération bien meilleure que la couche de sous-sol qui lui est sous-jacente.

Dans un sous-sol compacté, une restructuration naturelle n'est pratiquement plus possible. L'assainissement de sous-sols compactés est coûteuse en temps et en argent.

Il est également préférable de déposer, pour des entreposages de courte durée, les matériaux terreux sur la couche supérieure du sol. On pourra certes constater une asphyxie locale du sol (en se fondant sur l'odeur de pourriture qui se dégage lorsque le matériau terreux est repris). Mais l'activité biologique se remet rapidement en train après un ameublissement superficiel favorisant l'aération.

Lorsque pour des machines identiques, les traces de passage dans la couche supérieure du sol sont beaucoup plus profondes que dans le sous-sol, il faut attribuer cette plus grande visibilité des ornières à la compression des pores grossiers. Le sous-sol contenant moins de pores grossiers, les compactations y sont moins visibles, mais par contre elles impliquent dans la plupart des cas une perte pratiquement totale des pores grossiers. On ne peut plus remédier à de tels dégâts sans recourir à des méthodes coûteuses.

Toujours semer une couverture végétale

Les racines rendent un sol enherbé considérablement plus portant qu'un sol nu. En été, une prairie est en mesure de prélever sans problème cinq litres d'eau par jour et m². Le semis d'une prairie sur la surface concernée doit s'effectuer le plus tôt possible, au mieux déjà un ou deux ans avant l'intervention, afin que la prairie puisse s'installer complètement. Après les passages d'engins, la prairie se régénère en général rapidement. C'est seulement dans des cas graves qu'elle doit être ressemée, et dans la plupart de ces cas, il suffit d'effectuer un sursemis.