

Gestion respectueuse des sols lors de travaux de génie civil

Sols et chantiers.

Un module de l'aide à l'exécution « Construire en préservant les sols ».



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Gestion respectueuse des sols lors de travaux de génie civil

Sols et chantiers.

Un module de l'aide à l'exécution « Construire en préservant les sols ».

Impressum

Valeur juridique

La présente publication est une aide à l'exécution élaborée par l'OFEV en tant qu'autorité de surveillance. Destinée en premier lieu aux autorités d'exécution, elle concrétise les exigences du droit fédéral de l'environnement en ce qui concerne les notions juridiques indéterminées et la portée et l'exercice du pouvoir d'appréciation. Cette mesure favorise ainsi une application uniforme de la législation. Si les autorités d'exécution en tiennent compte, elles peuvent partir du principe que leurs décisions seront conformes au droit fédéral. D'autres solutions sont aussi licites dans la mesure où elles sont conformes au droit en vigueur.

Éditeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Auteurs

Corsin Lang, OFEV, section Sols

Matias Laustela, Basler & Hofmann SA, Esslingen

Bruno Grünenfelder, Basler & Hofmann SA, Esslingen

Accompagnement

Harald Bentlage (OFEV, Service juridique 3), Andreas Chervet (Office de l'agriculture et de la nature, BE), Dominique Gärtner (Service de l'agriculture, FR), Rolf Gsponer (Office du paysage et de la nature, ZH), Bastien Guex (Office cantonal de l'environnement, GE), Elena Havlicek (OFEV, section Sols), Harry Ilg (Office de protection de l'environnement, UR), Marco Lanfranchi (Office de la nature et de l'environnement, GR), Dominik Müller (Département de la construction, des transports et de l'environnement, AG), Ruedi Stähli (OFEV, section Sols), Christiane Vögeli Albisser (Office de l'agriculture et de la nature, BE)

Référence bibliographique

OFEV (éd.) 2022 : Gestion respectueuse des sols lors de travaux de génie civil. Sols et chantiers. Un module de l'aide à l'exécution Construire en préservant les sols. Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique n° 2112 : 37 p.

Photo de couverture

Piste de chantier et placette de mesure sur le chantier.

© Archives photos OFEV, section Sols

Téléchargement au format PDF

www.bafu.admin.ch/uv-2112-f

Il n'est pas possible de commander une version imprimée.

Cette publication est également disponible en allemand et en italien. La langue originale est l'allemand.

© OFEV 2022

Table des matières

Abstracts	5
Avant-propos	6
1 Introduction	7
1.1 Situation initiale	7
1.2 Champ d'application	7
2 Bases légales	9
3 Gestion des sols spécifique au projet	11
3.1 État pédologique initial	12
3.2 État pédologique cible	14
3.3 Nature des interventions liées à la construction et ampleur de l'emprise	15
3.4 Concept de gestion des sols	15
3.5 Suivi pédologique par des spécialistes de la protection des sols sur les chantiers (SPSC)	16
3.6 Réception	17
4 Gestion des sols et techniques de construction	18
4.1 Préparation du sol	19
4.2 Circulation de véhicules sur le sol ou application d'une autre charge	20
4.3 Accès et installations de chantier	23
4.4 Décapage du sol et déplacement des matériaux terreux	25
4.5 Entreposage provisoire des matériaux terreux	26
4.6 Remise en place des matériaux terreux et remise en état des sols	28
4.7 Remise en culture	31
Annexe	33
A1 Réalisation de tranchées de petite taille (tranchées en U)	33
A2 Limites d'engagement des machines pour la circulation sur les sols et le décapage	35

Abstracts

The “Sustainable use of soils on construction sites” is one of the modules composing the guidelines “Soil protection on construction sites”. It provides guidance pertaining to soil management on construction sites in accordance with the current soil protection legislation and is based on the knowledge gained in the field since the mid-1990s. It is essentially about the proper handling of the topsoil and subsoil during all construction-related interventions, such as stripping, temporary stockpiling and resspreading the soil. More consideration is now being paid to the initial quality of the soil: in other words, a soil survey is mandatory if a construction project involves soil resources. Therefore, a construction soil management plan should take into account not only the desired target state of soil at the end of the project but also the results of the initial soil survey.

Le module « Gestion respectueuse des sols lors de travaux de génie civil » de l'aide à l'exécution « Construire en préservant les sols » indique comment manier le sol dans le cadre de travaux de construction conformément à la législation en vigueur sur la protection des sols et s'appuie sur les connaissances acquises sur le terrain depuis le milieu des années 1990. Il s'agit essentiellement du maniement approprié de la couche supérieure et de la couche sous-jacente du sol durant toutes les interventions liées à la construction telles que le décapage du sol ainsi que l'entreposage provisoire et la remise en place des matériaux terreux. Désormais, l'accent est davantage mis sur l'état initial du sol. Aussi les informations pédologiques sont-elles obligatoires si un projet de construction prévoit une emprise sur les sols. Les mesures de protection des sols durant la phase de chantier sont déterminées en fonction de l'état initial et l'état cible souhaité.

Das Modul «Sachgerechter Umgang mit Boden beim Bauen» der Vollzugshilfe «Bodenschutz beim Bauen» erläutert den Umgang mit Boden beim Bauen gemäss dem aktuellen Bodenschutzrecht und baut auf den Erkenntnissen auf, die seit Mitte der 1990er-Jahre in der Praxis gemacht wurden. Im Fokus steht der sachgerechte Umgang mit Ober- und Unterboden bei allen baulichen Eingriffen wie Abtrag, Zwischenlagerung und Auftrag von Boden. Neu wird stärker auf den bodenkundlichen Ausgangszustand fokussiert, entsprechend sind Bodeninformationen bei Bauvorhaben mit Bodenbeanspruchung zwingend. Auf Basis des Ausgangszustands und des geplanten Zielzustands können die für das Bauvorhaben notwendigen Bodenschutzmassnahmen abgeleitet werden.

Il presente modulo «Corretta gestione del suolo nei progetti di costruzione» dell'aiuto all'esecuzione «Costruire proteggendo il suolo» illustra come gestire il suolo nella fase di cantiere conformemente alla legislazione vigente in materia di protezione del suolo e si basa sulle conoscenze acquisite nella pratica dalla metà degli anni '90. Al centro vi è la corretta gestione dello strato superiore e dello strato inferiore del suolo durante tutte le fasi di costruzione come l'asportazione, il deposito temporaneo e il riporto di suolo. Il modulo pone inoltre maggiore attenzione allo stato iniziale del suolo, rendendo obbligatorie le informazioni pedologiche per i progetti di costruzione che prevedono un'occupazione del suolo. Sulla base dello stato iniziale e di quello previsto si possono così determinare le misure di protezione del suolo da applicare al progetto.

Keywords:

Soil, building, soil conservation, soil specialist on construction sites (SSCS)

Mots-clés:

Sols, chantiers, protection des sols, spécialiste de la protection des sols sur les chantiers (SPSC)

Stichwörter:

Boden, Bauen, Bodenschutz, Bodenkundliche Baubegleitung (BBB)

Parole chiave:

Suolo, cantieri, protezione del suolo, specialista della protezione del suolo sui cantieri (SPSC)

Avant-propos

L'activité de construction d'infrastructures en tous genres demeure soutenue. Les chantiers s'étendent de plus en plus en régions de montagnes ou touchent des milieux forestiers. Lors de travaux de construction, il est fréquent que d'importants volumes de sol soient décapés, déplacés et entreposés avant d'être remis en place. Souvent, cela implique aussi des emprises temporaires destinées aux installations telles que des pistes d'accès au chantier ou des dépôts de matériaux terreux.

Un sol détruit ou pollué ne peut pas être simplement réparé, nettoyé ou reconstitué. La pédogénèse est un processus extrêmement long. Pour obtenir un centimètre de sol, il faut 200 à 300 ans, soit le temps écoulé depuis le début de l'ère industrielle. Pendant des travaux, les sols sont souvent décapés puis réutilisés en vue, par exemple, d'une remise en état ou d'une valorisation. Or leur maniement inadapté peut endommager leur structure et entraîner des compactions compromettant alors leurs fonctions. Toutefois, la loi sur la protection de l'environnement prévoit une protection qualitative des sols et l'ordonnance sur les atteintes portées aux sols assure la protection des sols lors des travaux de construction. En conséquence, la protection des sols doit non seulement être suffisamment prise en compte lors de la réalisation des travaux de construction et de la remise en état ultérieure des surfaces concernées, mais aussi être intégrée déjà à l'étape de planification des projets de construction. Les bases légales, les aides à l'exécution, les programmes de formation et la prise de conscience croissante de la dégradation des sols, ressource non renouvelable, ont fait que la protection des sols pendant les travaux de construction est désormais largement acceptée. Si un projet prévoit le maniement du sol, l'intervention de machines de chantier ou le déplacement de quantités importantes de matériaux terreux, les autorités exigent la plupart du temps l'engagement d'un spécialiste responsable de la protection des sols sur les chantiers, et ce, dès la phase de planification.

La section Sols de l'Office fédéral de l'environnement a élaboré le présent module « Gestion respectueuse des sols lors de travaux de génie civil » de l'aide à l'exécution « Construire en préservant les sols » en collaboration avec les services cantonaux chargés de la protection des sols et des spécialistes dotés d'une expérience pratique. Cette publication vise à promouvoir un maniement approprié du sol sur les chantiers et à empêcher des atteintes durables à la qualité de ce dernier. Elle tient compte des modifications de la législation ainsi que des connaissances acquises depuis l'établissement de la protection des sols lors de travaux de construction en tant que pratique courante au milieu des années 1990.

L'OFEV tient à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de cette publication, en particulier les membres du groupe d'accompagnement.

Bettina Hitzfeld, division sols et biotechnologie
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

1 Introduction

1.1 Situation initiale

La présente publication fait partie de l'aide à l'exécution « Construire en préservant les sols », qui couvre tous les aspects essentiels du maniement approprié des sols lors de travaux de construction. L'aide à l'exécution comprend trois modules :

- Gestion respectueuse des sols lors de travaux de génie civil
- Évaluation des sols en vue de leur valorisation¹
- Remodelages de terrain en vue de la revalorisation des sols²

Le présent module « Gestion respectueuse des sols lors de travaux de génie civil » explique comment manier le sol sur les chantiers conformément à la législation en vigueur sur la protection des sols et au vu de l'expérience acquise jusqu'à présent. Il remplace le guide de l'environnement n° 10 « Construire en préservant les sols » (2001) et met l'accent sur le maniement approprié de la couche supérieure et de la couche sous-jacente du sol durant toutes les interventions liées à la construction, telles que le décapage du sol ainsi que l'entreposage provisoire et la remise en place des matériaux terreux ainsi que le passage de véhicules sur le sol en place, la création d'installations de chantier ou de pistes de chantier et de transport. Dans cette nouvelle publication, l'accent est mis sur l'état pédologique initial, c'est-à-dire préalable aux travaux, qui constitue une base essentielle pour définir un maniement approprié du sol.

Le chapitre 2 présente les prescriptions du droit fédéral pertinentes en matière de gestion respectueuse des sols lors de travaux impliquant des interventions sur les sols. Le chapitre 3 renseigne sur les informations à récolter durant l'étude d'un projet de construction et à remettre aux autorités compétentes en vue d'une évaluation sous l'angle de la législation sur la protection des sols et, le cas échéant, d'une autorisation. Le chapitre 4 indique les mesures standard permettant de garantir une gestion respectueuse des sols. Des informations spécialisées relatives à l'état actuel de la technique et aux pratiques concernant les projets de construction sont notamment détaillées dans la publication « Sols et constructions. État de la technique et des pratiques » (série Connaissance de l'environnement)³ de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).

1.2 Champ d'application

La présente aide à l'exécution porte sur le sol, à savoir la couche supérieure et la couche sous-jacente du sol. La couche supérieure du sol, riche en matière organique, correspond la plupart du temps à l'horizon A. La couche sous-jacente, dénommée horizon B en pédologie, rassemble les couches biologiquement moins actives. Dessous se trouve l'horizon C, appelé sous-sol. Conformément à l'art. 7, al. 4^{bis}, 2^e phrase, de la loi sur la protection de l'environnement (LPE), on entend par sol la couche de terre meuble de l'écorce terrestre où peuvent

¹ Évaluation des sols en vue de leur valorisation. Aptitude des sols à leur valorisation. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2021. L'environnement pratique n° 2112.

² Remodelages de terrain en vue de la revalorisation des sols. Office fédéral de l'environnement (OFEV), en cours.

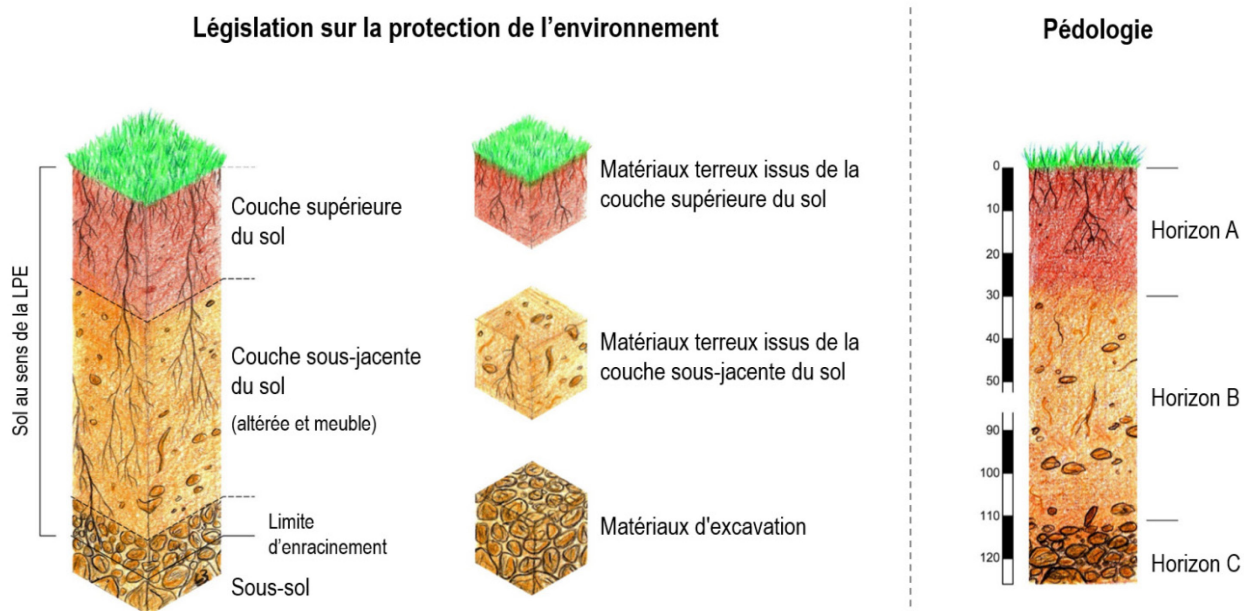
³ Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508.

pousser les plantes (figure 1, illustration de gauche). Le sous-sol, ni parcouru de racines ni altéré, n'est pas considéré comme faisant partie intégrante du sol.

La figure 1 illustre les différentes définitions du sol. Les horizons définis par la pédologie sont déterminants pour déduire les propriétés qui servent de base au choix des mesures de protection des sols requises. Les racines des végétaux (p. ex. des arbres ou des plantes exotiques envahissantes) peuvent atteindre le sous-sol non altéré, raison pour laquelle la définition du sol retenue par la LPE peut également s'appliquer à cette partie.

Figure 1

Les différentes définitions du sol et le champ d'application de la LPE



2 Bases légales

Le présent module formule des propositions concrètes, fondées sur la législation environnementale en vigueur, concernant la manière de manier et de préserver les sols lors de travaux de construction. Les bases légales fédérales déterminantes sont notamment les suivantes :

- loi fédérale du 7 octobre 1983 sur la protection de l'environnement (loi sur la protection de l'environnement, LPE, RS 814.01) ;
- ordonnance du 1^{er} juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol, RS 814.12).

Conservation de la fertilité du sol

La protection qualitative des sols vise à conserver durablement la fertilité du sol. La prévention (art. 1, al. 2, LPE) occupe donc une place prépondérante. Conformément à l'art. 33, al. 2, 1^{re} phrase, LPE, il n'est permis de porter atteinte physiquement à un sol que dans la mesure où sa fertilité n'en est pas altérée durablement. Cette disposition ne porte pas sur les terrains destinés à la construction (art. 33, al. 2, 1^{re} phrase, 2^e partie, LPE), à savoir les surfaces destinées à être imperméabilisées⁴. En revanche, le champ d'application des articles de loi sur la protection des sols inclut les sols non imperméabilisés. En particulier les surfaces non construites dans les zones à bâtir qui sont provisoirement utilisées lors de travaux de construction pour le passage des engins de chantier ou pour accueillir des installations de chantier et les sols non imperméabilisés dans le périmètre des constructions ou des installations ne sont pas destinés à la construction au sens de la LPE et entrent par conséquent dans le champ d'application de la protection des sols conformément à la LPE⁵.

La définition de la fertilité du sol ne se limite pas à la capacité de production au sens agronomique. D'après l'art. 2, al. 1, let. a, OSol, le sol est considéré comme fertile s'il présente entre autres, pour sa station, une biocénose biologiquement active, une structure, une succession et une épaisseur typiques et qu'il dispose d'une capacité de décomposition intacte. Le sol doit être traité de sorte que d'éventuelles atteintes n'altèrent pas sa fertilité de manière irréversible.

Atteintes physiques portées au sol

D'après l'art. 2, al. 4, OSol, on entend par atteintes physiques aux sols les atteintes à la structure, à la succession des couches pédologiques ou à l'épaisseur des sols résultant d'interventions humaines. Dans la pratique, cela signifie que presque tous les travaux de construction entraînent des atteintes physiques. Tant que celles-ci ne durent que peu de temps et sont sans gravité, le sol est capable de se rétablir naturellement. C'est la raison pour laquelle l'art. 33, al. 2, 1^{re} phrase, LPE interdit uniquement les atteintes physiques au sol qui altèrent durablement sa fertilité.

Quiconque construit une installation, exploite un sol ou l'occupe d'une autre manière doit, en tenant compte des caractéristiques physiques du sol et de son état d'humidité, choisir et utiliser des véhicules, des machines et des outils de manière à prévenir les compactations et les autres modifications de la structure des sols qui pourraient menacer la fertilité du sol à long terme (art. 6, al. 1, OSol). De plus, selon l'art. 7, al. 1, OSol, quiconque décape

⁴ Commentaires concernant l'ordonnance du 1^{er} juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol). Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP ; aujourd'hui Office fédéral de l'environnement, OFEV), 2001. L'environnement pratique n° 4809, p. 15.

⁵ Commentaires concernant l'ordonnance du 1^{er} juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol). Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP ; aujourd'hui Office fédéral de l'environnement, OFEV), 2001. L'environnement pratique n° 4809, p. 7.

un sol doit procéder de telle façon que le sol puisse être réutilisé en tant que tel ; en particulier, la couche supérieure du sol et la couche sous-jacente du sol seront décapées et entreposées séparément.

Lorsque des matériaux terreux issus du décapage de la couche supérieure et de la couche sous-jacente du sol sont réutilisés (p. ex. en vue de la remise en état ou du remodelage d'un terrain), ils doivent être mis en place de sorte que la fertilité du sol en place et celle du sol reconstitué ne soient que provisoirement perturbées (durant trois à cinq années au maximum⁶) par des atteintes physiques (art. 7, al. 2, let. a, OSol), et que le sol en place ne subisse pas d'atteintes chimiques et biologiques supplémentaires (art. 7, al. 2, let. b, OSol).

Atteintes chimiques et biologiques

Selon l'art. 2, al. 2, OSol, on entend par atteintes chimiques aux sols les atteintes portées aux sols par des substances naturelles ou artificielles (polluants). On entend par atteintes biologiques aux sols les atteintes portées aux sols par des organismes, en particulier par des organismes génétiquement modifiés, pathogènes ou exotiques (art. 2, al. 3, OSol). Des prescriptions détaillées et les bases d'évaluation du maniement des sols présentant différents degrés de pollution figurent dans le module « Évaluation des sols en vue de leur valorisation » de l'aide à l'exécution « Construire en préservant les sols ».

Principe

L'état du sol avant les travaux de construction constitue une base d'évaluation essentielle pour définir les conditions requises pour son maniement. Les mesures de protection des sols doivent avoir pour but de conserver à long terme la fertilité du sol ou du moins de la rétablir après une intervention de chantier.

⁶ Commentaires concernant l'ordonnance du 1^{er} juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol). Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEPF ; aujourd'hui Office fédéral de l'environnement, OFEV), 2001. L'environnement pratique n° 4809, p. 16.

3 Gestion des sols spécifique au projet

La loi sur la protection de l'environnement a notamment pour but de conserver durablement la fertilité du sol (art. 1, al. 1, LPE). En outre, les atteintes qui pourraient devenir nuisibles ou incommodantes seront réduites à titre préventif et assez tôt (art. 1, al. 2, LPE).

Dans le cadre d'un projet de construction, les principes ci-après permettent de tenir compte de la protection préventive des sols.

Principes de la gestion des sols sur les chantiers

- réduire la surface touchée par le projet de construction (emprise⁷) ;
- donner la priorité aux interventions sur des surfaces déjà atteintes ou à caractère anthropique ;
- restreindre l'utilisation au strict minimum, notamment en matière de durée et d'intensité (p. ex. nombre de déplacements, fréquence de passage de véhicules).

Étude du projet et autorisation de l'autorité compétente

L'autorité d'exécution veille à disposer des renseignements nécessaires à l'évaluation d'un projet de construction du point de vue de la législation sur la protection des sols. En vertu de l'art. 46, al. 1, LPE, elle est habilitée à exiger ces informations ou leur élaboration par le maître d'ouvrage⁸ ou à les collecter elle-même.

Pour pouvoir évaluer le caractère approprié des mesures de protection des sols prévues pour un projet de construction, les autorités compétentes en la matière ont besoin des informations suivantes :

- état pédologique initial (propriétés, atteintes, état du sol) ;
- état cible du sol ;
- nature des interventions liées à la construction et ampleur de l'emprise.

Les autorisations de construire et les approbations des plans comportent généralement des informations sur l'état cible du sol ainsi que sur les conditions qui en découlent et sur les indicateurs (p. ex. objectifs de remise en état avec indication de la profondeur utile).

⁷ L'« emprise » comprend l'ensemble du périmètre du chantier, soit toutes les surfaces impactées par le chantier telles que les surfaces sur lesquelles les sols sont décapés, les surfaces concernées par la remise en place de matériaux terreux ainsi que les surfaces temporairement sollicitées sur des sols en place (p. ex. installations de chantier et voies d'accès avec ou sans piste de chantier).

⁸ Le maître d'ouvrage constitue le décideur suprême d'un projet de construction. Il peut être le propriétaire foncier et/ou l'investisseur. C'est lui qui remet les demandes dans le cadre des procédures d'autorisation. Similaire à la norme SIA 112:2014. Bâtiment, génie civil. Modèle « Étude et conduite de projet ». Norme de compréhension (SN 509 112). Société suisse des ingénieurs et architectes (SIA), 2014.

3.1 État pédologique initial

L'état pédologique initial peut par exemple être représenté sous forme de cartes des sols. De manière générale, celles-ci indiquent la présence et l'épaisseur des différents horizons, jusqu'à une profondeur de 1 à 2 mètres. Elles décrivent la succession des différentes couches de sol (horizons), le matériel minéral parental ainsi que leurs caractéristiques physiques et chimiques⁹.

En l'absence de cartes des sols suffisamment détaillées, il convient de relever les paramètres pédologiques pertinents pour le projet sur l'ensemble de la surface concernée par les travaux (p. ex. profils de bêche ou de pelle mécanique, sondages manuels avec une tarière à ailettes). Le niveau de détail du relevé doit alors être choisi de manière à disposer de données qui permettent l'élaboration de mesures de protection de sol spécifiques au projet et l'évaluation de l'impact de ces mesures. Diverses fiches techniques cantonales contiennent des exigences concernant le degré de détail nécessaire pour les relevés des sols. Ces fiches, en complément de l'appréciation par les experts, peuvent être utilisées pour déterminer la densité des sondages pédologiques. Le degré de détail requis pour les relevés des sols est fonction en particulier de la variabilité des propriétés du sol ainsi que de la nature des interventions liées à la construction et de l'ampleur de l'emprise du projet de construction.

3.1.1 Propriétés du sol

La structure, la succession des horizons et l'épaisseur du sol dépendent du matériel minéral parental, de la topographie, de la durée de la pédogénèse, des conditions climatiques ainsi que de l'utilisation qui a été faite du sol. Ces facteurs vont influencer la profondeur du sol et, donc, la capacité de ce dernier à fournir des nutriments assimilables pour les plantes, de l'eau et une zone d'enracinement suffisante. La sensibilité d'un sol aux atteintes physiques dépend de sa structure. Les propriétés et paramètres pédologiques permettant d'évaluer l'état du sol sont les suivants : pierrosité, texture, pH, matière organique, régime hydrique (présence d'une nappe profonde ou superficielle, sol hydromorphe) et profondeur utile¹⁰. Pour l'évaluation des propriétés du sol, il convient de se baser sur le cahier n° 24 de la Station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture intitulé « Cartographie et estimation des sols agricoles »¹¹ ainsi que sur le manuel « Cartographie des sols forestiers »¹² de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage.

Relevé des propriétés du sol

Pour le relevé des propriétés du sol spécifique au projet, il convient de combiner plusieurs méthodes afin de réduire l'impact d'éventuelles erreurs propres à une méthode particulière. Il est recommandé d'associer les sondages avec des outils à main (gouge, tarière à ailettes) et les profils creusés (à la main ou avec une pelle mécanique). Pour ce faire, on peut s'appuyer sur une carte d'hypothèses, c'est-à-dire déterminer différentes zones sur la base des formes de paysages, de la géologie, de la géomorphologie et de l'historique des utilisations et des constructions, puis relever les propriétés du sol pour chacune de ces zones. Une telle carte d'hypothèses fournit de bonnes bases pour un périmètre de projet important. Une autre solution consiste à réaliser le relevé en fonction d'une grille spécifique, c'est-à-dire avec une densité de sondage fixe pour chaque surface. Un relevé

⁹ Cartographie des sols suisses. DÉVELOPPEMENT ET PERSPECTIVES. Groupe de travail Cartographie des sols de la Société suisse de pédologie (SSP), 2014. Point 12.2 « Cartographie des sols et cartes pédologiques », p. 94.

¹⁰ Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, point 3.2 « Description de l'état initial et du degré de sensibilité des sols », p. 51 ss.

¹¹ Cartographie et estimation des sols agricoles, cahier de la FAL n° 24. Station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture (FAL, aujourd'hui Agroscope), Zurich-Reckenholz, 1997. Chapitre 3 « Étude du profil », p. 3.1-1 ss.

¹² Manuel Cartographie des sols forestiers. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP ; aujourd'hui Office fédéral de l'environnement, OFEV), 1996. Chapitre 6 « Étude du profil (esquisse du profil) », p. 54 ss.

par grille fait en principe sens pour un projet de construction comprenant plusieurs périmètres partiels de tailles différentes ; il faut définir un nombre minimal de sondages par périmètre partiel afin que les résultats du relevé soient significatifs également pour les périmètres partiels de petite taille.

Le relevé spécifique au projet doit couvrir certains aspects de manière ciblée dans la perspective d'arrêter des mesures de protection des sols pour l'exécution du projet de construction. Dans les zones où le sol est décapé, le relevé doit permettre de clarifier l'aptitude à la valorisation et le bilan volumique, de prévoir un appel à projet pour l'utilisation des matériaux excédentaires et de soumettre une déclaration en ce sens aux autorités compétentes. Les zones concernées par une emprise temporaire sans interventions de génie civil doivent faire l'objet d'une investigation qui fournisse une référence appropriée pour le contrôle de la qualité à la fin du projet de construction. Dans le cas des chantiers linéaires (p. ex. tranchées), la référence pour un contrôle de la qualité ultérieur peut également se situer à côté de la surface concernée par les interventions.

En relevant les propriétés du sol, il y a lieu d'indiquer la localisation de tous les points relevés avec une précision suffisante (en principe +/- 0,5 m) horizontalement et, dans l'idéal, de les consigner sous forme de géodonnées. Les géodonnées sont importantes en particulier dans les grands projets s'étendant sur plusieurs années, car elles peuvent être au besoin transmises à d'autres parties concernées par le projet.

3.1.2 Atteintes portées aux sols

Pour définir une gestion respectueuse des sols, il faut prendre en compte, outre les propriétés pédologiques, les atteintes portées aux sols. C'est pourquoi il est nécessaire de documenter les atteintes existantes lors du relevé de l'état initial du sol. Le sol peut être touché par des atteintes chimiques, biologiques ou physiques et contenir des substances étrangères. Les atteintes chimiques portées au sol peuvent notamment être causées par des émissions générées par des installations, par l'élimination de déchets ou par l'exploitation des sols. Les atteintes biologiques au sol incluent les atteintes portées par des organismes génétiquement modifiés, pathogènes ou exotiques. Par atteintes physiques au sol, on entend les atteintes à la structure (p. ex. compaction), à la succession ou à l'épaisseur du sol. Les substances étrangères sont les déchets urbains, les biodéchets ou d'autres déchets de chantier non minéraux.

Analyse des atteintes portées aux sols

Les zones atteintes à des degrés différents (pollutions chimiques ou proportion de substances étrangères) ou par des organismes différents sont à analyser séparément. Les analyses doivent permettre de délimiter horizontalement et verticalement l'étendue des pollutions et d'en estimer le cubage. Elles doivent par ailleurs tenir compte des facteurs spécifiques à la station (p. ex. variabilité à petite échelle).

Plusieurs cantons disposent déjà de cartes indicatives de pollution (voir également point 3.2 « Atteintes chimiques portées aux sols » du module « Évaluation des sols en vue de leur valorisation » de l'aide à l'exécution « Construire en préservant les sols »). Le relevé des atteintes chimiques portées aux sols doit être effectué conformément au manuel « Prélèvement et préparation d'échantillons de sols pour l'analyse de substances polluantes »¹³ de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. Ce manuel présente la marche à suivre pour l'échantillonnage (stratégie d'échantillonnage, différents types de prélèvements) et pour la

¹³ Manuel Prélèvement et préparation d'échantillons de sols pour l'analyse de substances polluantes. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP ; aujourd'hui Office fédéral de l'environnement, OFEV), 2003. L'environnement pratique n° 4814, chapitre 3 « Principes de l'échantillonnage », p. 19 ss.

délimitation spatiale des sols pollués. Lors du relevé de la pollution, il est essentiel que l'analyse soit représentative de toute la surface et pas uniquement de zones partielles ou de petite taille.

Le relevé des substances étrangères est indispensable en particulier pour les projets de construction en milieu urbain (voir point 3.3 « Substances étrangères » du module « Évaluation des sols en vue de leur valorisation » de l'aide à l'exécution « Construire en préservant les sols »). Il est nécessaire de distinguer les déchets de chantier minéraux (p. ex. fragments de tuiles ou de briques) des autres substances étrangères (p. ex. débris de ferraille, plastique).

Pour réaliser un relevé des atteintes biologiques portées aux sols, il faut être en mesure de reconnaître les organismes exotiques envahissants et de cartographier en particulier les milieux naturels dans lesquels la présence de ces organismes est probable (voir point 3.4 « Atteintes biologiques portées au sol – organismes exotiques envahissants » du module « Évaluation des sols en vue de leur valorisation » de l'aide à l'exécution « Construire en préservant les sols »). Parmi les outils importants pour effectuer le relevé des atteintes biologiques, on citera en particulier les géoportails des cantons et le Carnet en ligne d'Info Flora dédié aux néophytes envahissants¹⁴.

3.1.3 État pédologique

En complément des propriétés du sol et des possibles atteintes à celui-ci, il est indispensable de décrire l'état actuel du sol. Pour ce faire, il est important de disposer d'informations sur l'éventuel caractère anthropique du sol, sur la végétation (p. ex. cultures présentes), sur la saison (p. ex. couverture neigeuse, fonte des neiges, volume des précipitations) et sur l'état de la surface du sol (p. ex. profondes ornières déjà existantes). Ces informations doivent être recueillies avant le début du chantier.

3.2 État pédologique cible

L'art. 33, al. 2, LPE et l'art. 2, al. 1, OSol impliquent que l'état d'un sol sollicité temporairement (sans décapage) ou par des travaux de génie civil (avec décapage) doit correspondre, à long terme, au moins à l'état dans lequel il était avant sa sollicitation (état initial). L'état cible, défini à partir de l'état initial, doit par conséquent correspondre à la structure, à la succession et à l'épaisseur du sol spécifiques à cette station. S'il est impossible de définir l'état cible à partir de l'état initial, on peut prendre comme point de comparaison un sol de référence sur une surface comparable. Pour déterminer l'état cible, les indicateurs tels que la profondeur utile et la classe d'aptitude sont particulièrement pertinents¹⁵.

Remarque

Les objectifs d'utilisation des sols en zone urbaine diffèrent souvent de ceux poursuivis à l'extérieur du milieu bâti. Les objectifs de remise en état pour les sols en zone urbaine doivent le plus souvent être définis en fonction de l'utilisation¹⁶.

¹⁴ Le Carnet en ligne néophytes envahissantes d'Info Flora montre l'ensemble des observations, des luttes et des contrôles pour les espèces de la « Liste noire ». En tant que centre national de données et d'informations sur la flore de Suisse, la fondation collabore avec les autorités en matière de protection des espèces.

¹⁵ Cartographie et estimation des sols agricoles, cahier de la FAL n° 24. Station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture (FAL, aujourd'hui Agroscope), Zurich-Reckenholz, 1997. Point 5.3 « Régime hydrique / Profondeur utile », p. 5.3-1 ss, et chapitre 9 « Estimation de l'aptitude agricole d'un site », p. 9.1-1 ss.

¹⁶ Vous trouverez des informations sur les objectifs de remise en état (y compris sur l'épaisseur des couches) notamment dans la norme SIA 318:2009. Aménagements extérieurs (SN 568 318). Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA), 2009, p. 13.

3.3 Nature des interventions liées à la construction et ampleur de l'emprise

Afin de pouvoir évaluer les conséquences des travaux de construction sur les sols, des informations sur la nature et l'ampleur de l'utilisation sont nécessaires. Il peut s'agir d'une emprise temporaire (p. ex. surface servant à l'entreposage provisoire) ou définitive. La nature des interventions liées à la construction et l'ampleur de l'emprise peuvent être représentées sur un plan. Des indications concrètes sur l'emprise et la surface décapée ainsi que sur les quantités de matériaux terreux (de la couche supérieure et de la couche sous-jacente du sol) à déplacer sont également importantes.

3.4 Concept de gestion des sols

Toutes les données fondamentales liées au projet et à son autorisation évoquées précédemment sont résumées dans un « concept de gestion des sols ». Ce concept contient toutes les données relatives à la gestion des sols lors des interventions de génie civil. Le modèle progressif du tableau 1 illustre dans quels cas un concept de gestion des sols est nécessaire. Lorsque les projets sont soumis à une étude de l'impact sur l'environnement (EIE), ces contenus doivent être intégrés au chapitre Sols du rapport d'impact sur l'environnement (RIE)¹⁷.

Contenu du concept de gestion des sols

Pour garantir un maniement approprié des matériaux terreux, le concept de gestion des sols doit au minimum comprendre des informations concernant les aspects suivants :

- relevé pédologique de l'état initial ;
- la nature et de l'ampleur de l'emprise ;
- la durée de l'intervention liée à la construction ;
- les mesures spécifiques au projet visant le remaniement approprié et la protection du sol ;
- le bilan volumique de la couche supérieure et de la couche sous-jacente du sol ;
- la valorisation conforme à la législation des couches supérieure et sous-jacente du sol (le cas échéant, le stockage définitif conforme à la législation) ;
- l'état cible du sol (p. ex. objectif de remise en état des sols à reconstituer).

Le niveau de détail du concept de gestion des sols dépend de la phase du projet¹⁸. Les aspects pédologiques sont successivement approfondis durant l'étape appropriée (étude de faisabilité, avant-projet, projet de l'ouvrage, dossier de mise à l'enquête, projet d'exécution). Les détails à ce sujet figurent au chapitre 2 « Planification des mesures de protection des sols » de la publication « Sols et constructions. État de la technique et des pratiques » (série Connaissance de l'environnement)¹⁹ de l'OFEV. Plusieurs cantons ont concrétisé les exigences s'appliquant à un concept de gestion des sols. Ces informations sont disponibles sur Internet.

¹⁷ Manuel EIE. Directive de la Confédération sur l'étude de l'impact sur l'environnement. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2009. L'environnement pratique n° 0923, module 5 « Contenu des documents d'étude d'impact », chapitre 3 « Rapport d'impact », p. 13 ss.

¹⁸ Les phases et phases partielles sont décrites dans la norme SIA 112:2014. Bâtiment, génie civil. Modèle « Étude et conduite de projet ». Norme de compréhension (SN 509 112). Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA), 2014, p. 9 ss.

¹⁹ Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, chapitre 2 « Planification des mesures de protection des sols », p. 38 ss.

3.5 Suivi pédologique par des spécialistes de la protection des sols sur les chantiers (SPSC)

Le suivi pédologique des travaux par un spécialiste responsable de la protection des sols sur les chantiers s'est établi dans la pratique depuis la fin des années 1990. Celui-ci soutient le plus souvent le maître d'ouvrage dans toutes les phases d'un projet de construction et veille au maniement approprié du sol : il garantit par exemple la mise en œuvre de mesures de protection spécifiques au chantier, conseille et propose des solutions aux problèmes imprévus en collaboration avec la direction des travaux et l'entreprise de construction. Il s'agit, comme dans les autres domaines de l'environnement (p. ex. bruit, sites contaminés, eaux, nature et paysage), d'un expert mandaté. Sa position et ses tâches peuvent varier en fonction du projet et de l'organigramme du chantier²⁰. Les spécialistes de la protection des sols sur les chantiers doivent disposer de connaissances approfondies des sols, être en mesure de relever les propriétés pédologiques et les atteintes portées aux sols et de les interpréter, de définir sur cette base une gestion respectueuse des sols conforme au droit, d'intégrer les résultats aux différentes phases du projet de construction et d'accompagner la mise en œuvre²¹.

Comme, dans la plupart des cas, la protection des sols ne peut être que préventive (car l'assainissement ultérieur du sol serait impossible, trop coûteux ou trop lent), une expertise spécifique est généralement nécessaire pour intégrer suffisamment tôt et de manière appropriée les exigences de la législation sur la protection des sols aux projets concernés. À cet effet, les SPSC peuvent intervenir en qualité de conseillers. Dans la mesure où cela est requis pour l'exécution des exigences légales relatives à la protection des sols, l'engagement d'un ou d'une SPSC peut aussi être ordonné, par exemple formulé en tant que condition dans l'autorisation de construire (ou l'approbation des plans). Plusieurs cantons ont concrétisé les exigences en matière de suivi pédologique des travaux dans un cahier des charges qu'ils ont publié en ligne.

Répartition des rôles et des tâches

Dans la pratique, les SPSC (p. ex. les professionnels spécialisés) se chargent de la planification des aspects relevant du domaine des sols. Lors de la phase d'exécution d'un projet de construction, ils gèrent, coordonnent et surveillent régulièrement les travaux sur le chantier qui ont un impact sur le sol (p. ex. direction spécialisée des travaux)²².

Dans les projets de construction, il s'est révélé judicieux de faire appel à un ou à une SPSC à partir d'une emprise déterminée (en principe de 2000 à 5000 m², ou 1000 m dans le cas de chantiers linéaires²³), tant pour la phase de planification (assurée par des professionnels spécialisés, p. ex.) que pour la phase d'exécution (assurée par la direction spécialisée des travaux, p. ex.). Outre la taille de l'emprise, la décision d'engager un ou une SPSC doit aussi tenir compte des propriétés des sols concernés et de la présence ou de l'absence d'informations pédologiques. Un modèle progressif (tableau 1) est recommandé.

²⁰ Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, point 2.2 « Rôle et tâches du spécialiste de la protection des sols sur les chantiers (SPSC) », p. 48 s.

²¹ Une liste des spécialistes de la protection des sols sur les chantiers reconnus par la Société suisse de pédologie (SSP) est consultable sur le site Internet de la SSP : www.soil.ch.

²² Ces attributions des tâches sont également décrites dans la norme SIA 112:2014. Bâtiment, génie civil. Modèle « Étude et conduite de projet ». Norme de compréhension (SN 509 112). Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA), 2014, p. 6 ss.

²³ Les petits chantiers avec des tranchées en U traditionnelles requièrent généralement une bande d'environ 5 m de large pour la fouille, la zone de circulation de la machine de chantier et l'entreposage provisoire pour les matériaux excavés (horizons A, B et C). Ainsi, pour une fouille longue de 1000 mètres, la surface subissant une intervention est d'environ 5000 m².

Tableau 1

Modèle progressif relatif à l'engagement d'une personne compétente chargée du maniement approprié du sol tant lors de la phase de planification (assurée par les professionnels spécialisés) que lors de la phase d'exécution (assurée par la direction spécialisée des travaux)

Emprise, propriétés pédologiques et atteintes portées aux sols		Niveau de détail de la planification pédologique et engagement d'un spécialiste responsable de la protection des sols sur les chantiers
Emprise :	petite	<ul style="list-style-type: none"> • Mesures standard de protection des sols dans l'autorisation de construire • Pas de professionnels spécialisés • Pas de direction spécialisée des travaux
Propriétés pédologiques :	sol homogène et portant	
Atteintes aux sols :	absence d'indices	
Emprise :	petite	<ul style="list-style-type: none"> • Mesures standard de protection des sols dans l'autorisation de construire • Pas de professionnels spécialisés • Direction spécialisée des travaux lors de la phase d'exécution
Propriétés pédologiques :	défavorables ou hétérogènes	
Atteintes aux sols :	présences d'indices	
Emprise :	moyenne à grande	<ul style="list-style-type: none"> • Connaissance indispensable de l'état initial • Professionnels spécialisés lors de la phase d'étude du projet • Direction spécialisée des travaux lors de la phase d'exécution

3.6 Réception

Les « réceptions de l'ouvrage » entre l'autorité compétente, le titulaire de l'autorisation et le spécialiste de la protection des sols sur les chantiers ont fait leurs preuves quant au contrôle du respect des conditions relatives aux sols stipulées dans une autorisation. Il est judicieux d'organiser des réceptions également entre les différentes phases de reconstitution (après la remise en état et la remise en culture). Le tableau 2 liste les réceptions à considérer et mentionne également les parties potentiellement impliquées²⁴.

Tableau 2

Proposition pour les examens, les réceptions et les parties concernées

Examens et réceptions	Parties
Examens possibles : p. ex. remblai nivelé, évacuation des eaux	<ul style="list-style-type: none"> • Entreprise • Direction des travaux • Direction spécialisée des travaux
Réception après la remise en état (réception de l'ouvrage)	<ul style="list-style-type: none"> • Maître d'ouvrage • Entreprise • Direction des travaux • Direction spécialisée des travaux • Propriétaire • Exploitant
Réception de l'état cible à l'issue de la remise en culture (réception finale)	<ul style="list-style-type: none"> • Autorités • Maître d'ouvrage • Direction spécialisée des travaux • Propriétaire • Exploitant

²⁴ Des propositions de procès-verbaux de réception et des mots-clés sur les contenus à vérifier sont décrits dans la Directive pour la manipulation appropriée du sol. Association suisse de l'industrie des graviers et du béton (ASGB), 2021. Annexe 2 « Procès-verbaux de restitution », p. 78 ss.

4 Gestion des sols et techniques de construction

La gestion respectueuse des sols dans les projets de construction s'est développée et concrétisée depuis le milieu des années 1990. On peut déduire des art. 6, al. 1, et 7, al. 2, let. a, OSol en relation avec l'art. 2, al. 1, let. a, OSol les exigences ci-après en la matière.

Exigences relatives à la protection des sols dans le cadre des projets de construction

- Après chaque sollicitation, le sol doit pouvoir, à long terme, remplir les mêmes fonctions qu'avant l'utilisation (p. ex. fonctions d'habitat, de production et de régulation).
- La structure doit pouvoir se reconstituer et le système poral doit être restauré en termes de grandeur (pores fins à grossiers) et de continuité (système continu).
- L'épaisseur des horizons et leur succession doivent être maintenues ou, au minimum, rétablies.
- Les sols saturés d'eau ne sont pas touchés par les travaux.

Mesures standard en vue d'une gestion respectueuse des sols dans les projets de construction

La législation en vigueur sur la protection de l'environnement protège les sols contre toute atteinte. Le caractère optimal de cette protection dépend des propriétés et de l'utilisation du sol. Les paragraphes qui suivent décrivent des mesures standard en vue d'une gestion respectueuse des sols et des recommandations de mise en œuvre, sous réserve de particularités dans certains cas.

Les mesures standard concernent en premier lieu les sols arables et les sols de prairies ou de pâturages, avec un horizon B développé. Elles s'appliquent également aux sols en milieu urbain et aux sols de jardin. Lorsque ces sols sont touchés par des travaux de construction, il est particulièrement important de mettre l'accent sur la conservation de l'horizon A et sur la protection de l'horizon B. On peut envisager de s'écarter des mesures standard lorsque des propriétés et une utilisation spécifiques des sols l'exigent. Il peut être judicieux, voire nécessaire, de déroger à ces mesures notamment en cas de projet de construction touchant à des sols minéraux hydromorphes, des sols organiques, des sols alluviaux, des sols en milieu forestier et des sols des zones de montagne. Les sections qui suivent contiennent un point « Mesures différenciées », qui explique dans quels cas il convient de s'éloigner des mesures standard.

La pose de câbles et de conduites de petite taille qui s'étendent souvent sur de longues distances touche des sols différents en matière de propriétés, d'utilisation et d'état actuel. L'annexe A1 du présent module de l'aide à l'exécution propose des mesures caractéristiques pour ce type de chantier.

4.1 Préparation du sol

Objectifs de la préparation

L'enherbement vise à renforcer la portance du sol grâce à l'effet de l'évapotranspiration et à améliorer la stabilité de la structure du sol grâce à un réseau de racines plus dense. La végétalisation des sols a fait ses preuves tant pour les emprises temporaires qu'avant le décapage du sol²⁵.

Dans la phase qui précède immédiatement les travaux de construction, les objectifs de rendement de l'exploitation agricole devraient en principe, d'un point de vue technique, revêtir une importance secondaire. Les pratiques agricoles servent alors principalement à préparer au mieux le sol à l'intervention, et les propriétaires, tout comme les exploitants, doivent être impliqués à temps dans le projet de construction.

4.1.1 Mesures standard

Mesures de routine visant à préparer le sol avant l'intervention liée à la construction :

Préparation du sol

- un mélange trèfle-graminées (à enracinement profond) est semé, dans l'idéal quelques mois avant, mais au plus tard six semaines avant le début des travaux de construction afin qu'une couverture végétale continue puisse s'établir et que les racines puissent croître en profondeur ;
- les cultures sont fauchées juste avant les travaux de construction (le produit de la fauche est exporté ou broyé et laissé sur place, p. ex. sous une piste de chantier) ;
- les cultures arables d'hiver (blé, colza) peuvent servir de préparation du sol avant les travaux de construction dans la mesure où ceux-ci débutent directement après la récolte.

4.1.2 Mesures différenciées

En raison des conditions climatiques et géomorphologiques prévalentes en altitude, les *sols en zone de montagne* sont soumis à une autre dynamique que ceux situés à basse altitude. La brève durée de végétation, une végétation souvent clairsemée, des horizons peu épais et une pierrosité élevée sur des terrains souvent en pente compliquent le maniement, la remise en place et la végétalisation des sols en zone de montagne²⁶.

À haute altitude, la pédogénèse est un processus extrêmement lent et toute atteinte a des conséquences à très long terme. La variabilité, généralement à petite échelle, du matériel parental des sols et de la végétation façonne le paysage. L'érosion constitue le danger principal pour les sols situés en altitude. La déstructuration des sols et, partant, la croissance réduite de la végétation peuvent contribuer à la déstabilisation des versants²⁷. Dans l'idéal, les sols en zone de montagne ne doivent pas être décapés. Si un décapage est nécessaire, les sols doivent si possible être décapés sous forme de plaques de gazon.

En milieu forestier, le début des travaux s'accompagne généralement d'un déboisement. Cette intervention doit être réalisée en tenant compte des propriétés du sol (p. ex. une structure meuble, un pH bas et une litière plus

²⁵ Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, point 3.5 « Enherbement préalable des emprises », p. 56 s.

²⁶ Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, point 1.6.2 « Chantiers en milieux subalpins et alpins », p. 29 s.

²⁷ Environnement et aménagement du territoire dans les projets d'installations à câbles. Aide à l'exécution à l'intention des autorités, des entreprises de remontées mécaniques et des spécialistes de l'environnement. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2013. L'environnement pratique n° 1322, point 8.2 « Protection des sols », p. 155 s.

ou moins épaisse²⁸), du type de construction à venir et de la gestion envisagée des sols. Par exemple, en cas de sollicitation temporaire, les souches peuvent être sciées à faible hauteur et les racines laissées dans le sol. Les souches et les racines qui restent dans le sol renforcent la répartition de la charge dans le sol. En revanche, l'utilisation de fraiseuses à souches sur toute la surface avant le décapage du sol n'a pas fait ses preuves.

4.2 Circulation de véhicules sur le sol ou application d'une autre charge

Portance

Dans le cadre d'un projet de construction, des machines de chantier roulent sur les sols ou ceux-ci sont soumis à d'autres charges (p. ex. installations, dépôts de matériaux). La portance du sol (résistance mécanique) est déterminante pour la conservation de la structure du sol. La portance du sol est influencée par les facteurs suivants :

- propriétés du sol (en particulier texture et pierrosité) ;
- humidité du sol ;
- densité de la couverture végétale et masse racinaire.

Plus un sol est humide, plus sa résistance mécanique est faible. De même, plus la texture d'un sol est fine, plus ce sol se prête à une déformation plastique et à une compaction. Cette déformation génère une perte de porosité et une diminution de la continuité des pores. Plus le sol est compacté profondément, plus la régénération de la structure est lente.

Détermination de l'humidité du sol

L'état d'humidité du sol peut être déterminé par la force de succion, mesurée à l'aide d'un tensiomètre. Les mesures tensiométriques constituent la base technique de référence pour l'évaluation de l'état d'humidité à partir duquel les véhicules peuvent circuler ou les matériaux terreux peuvent être déplacés sans détérioration (voir annexe A2-1). Pour une mesure fiable sur les chantiers, il est recommandé, d'un point de vue technique, d'installer cinq tensiomètres sur une placette de mesure représentative d'une surface de 4 m² et de prendre la valeur de mesure médiane comme résultat. La profondeur de mesure standard est de 30 à 35 cm (pointe de la bougie de céramique à une profondeur de 35 cm). Tous les détails sur le fonctionnement, la préparation et le maniement des tensiomètres se trouvent expliqués dans la littérature consacrée à ce sujet²⁹ et parfois, sur les sites Internet des services cantonaux chargés de la protection des sols.

L'impact des précipitations sur l'humidité du sol sera plus ou moins marqué selon les conditions météorologiques (p. ex. durée d'une période sèche) et les propriétés du sol. C'est pourquoi, en plus de la force de succion, on utilise en pratique également les quantités de précipitations pour évaluer la résistance mécanique.

²⁸ Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, points 1.6.1 « Chantiers en milieux forestiers », p. 26 ss, et 4.1 « Chantier avec emprise temporaire en forêt », p. 78 ss.

²⁹ Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, point 3.6 « Mesure de l'humidité des sols », p. 57 ss.

Plusieurs cantons exploitent des stations permanentes de mesure de l'humidité des sols³⁰, qui fournissent de précieuses informations sur l'évolution de l'état d'humidité des sols dans le temps. Les mesures des stations fixes peuvent compléter les mesures des tensiomètres installés sur le chantier.

Dans certains cas ou en cas d'emprise de petite taille et de courte durée, l'humidité du sol peut aussi être évaluée sur la base des conditions météorologiques des jours précédents et au moyen d'un test tactile (toucher) de la couche supérieure et de la couche sous-jacente du sol³¹. Il est ainsi possible, avec peu de moyens, d'évaluer l'état de ressuyage des sols. Cette méthode peut aussi être utilisée en dehors de la période de végétation, durant la période hivernale.

Circulation de machines à chenilles

La transmission de pression générée par les roues ou les chenilles des véhicules sur et dans le sol est principalement déterminée par la pression surfacique et le poids total de la machine, ainsi que par l'humidité du sol. En 1993, un nomogramme³² d'engagement des machines respectueuses des sols a été établi en fonction de ces facteurs dans le cadre de l'élaboration des « Directives pour la protection des sols lors de la création de conduites souterraines de transport » de l'Office fédéral de l'énergie. Le recours à la mesure tensiométrique et au nomogramme constitue une méthode établie et pratique pour évaluer la portance du sol lors de l'utilisation de machines de chantier à chenilles. Le nomogramme et des exemples d'application permettant de définir la limite d'engagement des machines de chantier à chenilles figurent à l'annexe A2-2.

4.2.1 Mesures standard

Les mesures de protection des sols décrites ci-après, qui s'appliquent en cas de circulation de véhicules sur le sol ou lorsque les sols sont soumis à une autre charge, sont en principe considérées comme adéquates sur le plan technique³³.

Circulation de véhicules sur le sol ou application d'une autre charge

- Force de succion < 10 cbar : il ne faut ni circuler sur le sol ni appliquer de charge.
- Force de succion ≥ 10 cbar : il est possible de circuler sur le sol avec des machines de chantier à chenilles ou d'appliquer une charge. La limite effective d'engagement d'une machine est fixée soit directement à partir des paramètres de la machine en question, soit à l'aide du nomogramme permettant d'évaluer l'intervention admise des machines de chantier à chenilles sur le sol (voir annexe A2-2). Si la limite effective d'engagement calculée est plus élevée que la force de succion dans le sol, on utilisera des dispositifs de protection temporaires (p. ex. matelas en rondins). Lorsque ces dispositifs de protection temporaires sont mis en place, il faut également prendre en compte les limites d'utilisation.
- Les machines de chantier à chenilles dont la pression au sol dépasse 0,5 kg/cm² ne doivent pas circuler directement sur le sol en place (c'est-à-dire sans dispositif de protection).
- Les véhicules de transport destinés à circuler sur les routes ou les pistes d'accès au chantier ne doivent pas rouler directement sur le sol.

³⁰ Le Cercle Sol, l'association des services de la protection des sols des cantons, met en réseau les stations existantes de mesure de l'humidité des sols sur www.centibar.ch et les présente sur cette page d'accueil commune.

³¹ Prévenir le compactage des sols – conseils pratiques ! Agridea, 2014, p. 7.

³² Directives pour la protection des sols lors de la création de conduites souterraines de transport (Directives pour la protection des sols). Office fédéral de l'énergie (OFEN), 1993, révision en 1997. Annexe 6 « Nomogramme : limites d'utilisation de machines de chantier ».

³³ Cf. Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, point 3.7 « Choix des machines et des procédés de décapage », p. 60 ss.

- Les engins de chantier dotés de pneus conventionnels (p. ex. petits dumpers sur pneus) ne peuvent rouler sur le sol en place que si la force de succion est d'au moins 25 cbar, la charge par roue ne dépasse pas 2,5 t par roue et la pression dans les zones de contact est inférieure à 0,5 kg/cm².
- Les machines de chantier ne peuvent en principe circuler que sur la couche supérieure du sol.
- La circulation sur le sol doit être limitée au minimum nécessaire ; en d'autres termes, le nombre de passages doit être aussi faible que possible et se concentrer sur une petite partie de la surface et non pas être étendu à toute la surface du terrain. Les passages répétés (plus de trois à cinq passages au même endroit) ne sont permis qu'à partir de 25 cbar ou en présence de dispositifs de protection.
- En règle générale, les machines de chantier ne doivent pas circuler sur les dépôts de matériaux terreux. Il est uniquement possible de circuler sur des dépôts entièrement végétalisés et ressuyés conformément aux mesures susmentionnées, p. ex. avec une pelle hydraulique à chenilles pour la reprise des matériaux terreux en dépôt (sous réserve d'un examen technique).
- La circulation nécessaire sur des dépôts et sur des surfaces déplacées ou remises en état en vue d'une exploitation, d'un entretien ou d'une remise en culture doit être réalisée sur sol ressuyé, avec des machines agricoles adaptées (de faible poids, éventuellement dotées de pneus à basse pression)³⁴.

4.2.2 Mesures différenciées

Il convient d'*augmenter la force minimale de succion requise* en matière de circulation sur le sol si l'on estime cette mesure nécessaire en raison de propriétés du sol défavorables (p. ex. sols argileux).

Les *sols minéraux hydromorphes* ont souvent une texture fine, ne se ressuint pratiquement pas, et sont très sensibles à la compaction. En règle générale, les conditions relatives à l'état d'humidité requis pour autoriser la circulation de véhicules ou de travaux de construction ne sont pas satisfaites même durant les périodes plus sèches de l'année. Du fait de la lenteur du processus de séchage, il peut se révéler judicieux de couvrir temporairement le sol au moyen d'un film plastique par exemple, si des précipitations sont attendues. Les mesures visant à réduire la surface affectée (emprise) sont particulièrement importantes.

Sur la plupart des sols hydromorphes, il est indispensable de recourir à des mesures de répartition de la charge (p. ex. des systèmes de plaques mobiles rigides). Si des véhicules devaient néanmoins circuler directement sur de tels sols, il faudrait alors utiliser des machines légères avec des chenilles larges (machines exerçant sur le sol une pression particulièrement faible).

Si les *sols organiques* sont soumis à une charge ou à la circulation de véhicules, il faut s'attendre à une réaction élastique du sol (une déformation temporaire), particulièrement si les eaux souterraines atteignent les couches profondes du sol. Si des mesures de drainage sont prises pour des interventions de génie civil, on doit prendre en considération des tassements parfois importants. En outre, en cas de remblayages sur des sols organiques, le sous-sol peut s'affaisser. Aussi est-il pertinent de réaliser des analyses non seulement pédologiques, mais aussi géologiques ou géotechniques de la stabilité du sous-sol.

En *zone de montagne*, les projets de construction doivent pouvoir être réalisés lors de la période de végétation, même si celle-ci est brève. L'aménagement du chantier et les mesures de protection des sols doivent être conçus si possible de sorte que les travaux peuvent être effectués indépendamment de l'humidité, c'est-à-dire de l'état

³⁴ Le modèle de simulation Terranimo[®] est un instrument permettant d'évaluer la praticabilité d'un sol avec des machines et équipements agricoles. La contrainte exercée sur le sol par les machines agricoles est comparée à la résistance du sol. Voir : www.terranimio.ch.

de ressuyage du sol. La mesure de l'humidité du sol à l'aide de tensiomètres est souvent impossible en raison de la faible épaisseur des sols et de la pierrosité élevée. L'humidité peut toutefois être évaluée sur la base de l'observation de l'évolution météorologique et au moyen du test tactile.

Dans les terrains en pente, on peut envisager d'utiliser une pelle-araignée, à condition que le sol soit suffisamment ressuyé. Les travaux doivent être interrompus en cas de précipitations.

Le régime hydrique et le ressuyage des *sols en milieux forestiers* diffèrent souvent de ceux des sols d'autres milieux en raison de la succession des sols (y compris litière, enracinement, évapotranspiration des arbres et interception des eaux météoriques). Il n'en demeure pas moins que les forces de succion usuelles peuvent servir à définir les limites d'engagement des véhicules utilisés³⁵. Il faut en principe tenir compte des layons pour la circulation avec des véhicules.

Si le sol en milieu forestier n'est pas décapé, mais sollicité uniquement de manière temporaire, les souches peuvent être sciées à faible hauteur et les racines, être laissées dans le sol. Les souches et les racines qui restent dans le sol renforcent la répartition de la charge dans le sol.

4.3 Accès et installations de chantier

Les emprises liées aux accès et aux installations de chantier ne sont généralement que temporaires et n'impliquent en principe pas de décapage des sols. Elles servent notamment aux installations de chantier, aux places de montage, aux pistes de chantier et de transport et aux surfaces servant à l'entreposage provisoire de matériaux terreux décapés ou de matériaux d'excavation et de percement. Lorsque les installations sont temporaires, il convient dans la mesure du possible d'utiliser des surfaces déjà imperméabilisées ou des places gravillonnées existantes. Si les installations temporaires ont une emprise sur des sols en place, les explications ci-après relatives à la répartition de la pression au sol (voir point 4.2) et la répartition de la charge doivent être pris en considération.

Mesures de répartition de la charge

Les dispositifs de protection temporaires peuvent être composés de matériaux différents³⁶. On a notamment fait leurs preuves :

- les dispositifs de protection constitués de grave non traitée³⁷ ou de matériaux rocheux, éventuellement complétés par un revêtement ;
- les matelas en rondins, les pistes en copeaux de bois (surtout en forêt) ;
- les plaques mobiles rigides en métal ou en béton ;
- les plaques mobiles emboîtables à dentures.

³⁵ La protection des sols en forêt contre les atteintes physiques. La gestion forestière entre les impératifs de rentabilité et la préservation des propriétés physiques du sol. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2016. Connaissance de l'environnement n° 1607, point 6.4.2 « Praticabilité du sol forestier », p. 122 ss.

³⁶ Cf. Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, point 3.8 « Accès et pistes de chantier », p. 66 ss ;

Fiche méthodologique sur les mesures de répartition de la charge. Canton de Zurich, Service de la protection des sols. Office des paysages et de la nature (OPN), 2008 (en allemand).

³⁷ Pour la création de dispositifs de protection constitués de grave non traitée, on utilise en principe de la grave non traitée 0/45 et d'une épaisseur de 0,5 m après roulage qu'on pose sur le sol en place protégé par un géotextile (fonction de séparation). On estime qu'une épaisseur de 0,5 m est appropriée pour les dispositifs de protection constitués de grave non traitée sur les sols dont la couche sous-jacente est bien développée et qui sont utilisés pour la circulation des véhicules de transport à pneus. Pour d'autres utilisations, on pourra selon le projet opter pour une autre épaisseur.

À la rigueur, des pistes constituées de grave peuvent être posées sur le sol en place même sans géotextile de séparation si l'herbe est haute (donc en présence de suffisamment de biomasse pour les séparer). Néanmoins, la séparation nette entre la grave et le sol qui se trouve en dessous doit être garantie lors de leur déconstruction. La déconstruction des pistes de grave laisse toujours des restes de grave (et également de géotextiles) sur le sol. Ceux-ci doivent être éliminés à la main.

Tous les dispositifs de protection doivent être entretenus en fonction du mode de construction et de la fréquence d'utilisation, notamment pour garantir leur fonction de protection. Dans le cas des pistes constituées de grave par exemple, cela revient à s'assurer que l'épaisseur minimale sera conservée durant toute la durée d'utilisation.

4.3.1 Mesures standard

Les mesures standard suivantes sont considérées comme adéquates pour les accès et les installations de chantier.

Accès et installations de chantier

- Les dispositifs de protection sont mis en place pour protéger les sols existants, en particulier lorsque la charge excède la portance du sol, lorsque des transports avec des véhicules à pneus (poids total supérieur à 10 t) deviennent nécessaires ou lorsque des surfaces doivent être utilisées régulièrement ou par toutes conditions météorologiques. L'objectif est de répartir la charge sur toute la surface afin de prévenir toute altération de la structure du sol (en particulier de la couche sous-jacente).
- Les dispositifs de protection sont utilisés directement sur le sol en place, sans décapage préalable.
- Le dimensionnement est réalisé en fonction du projet, selon les propriétés du sol et l'utilisation envisagée.

4.3.2 Mesures différenciées

Les exigences en matière d'accès et de logistique en zone de *montagne et en terrain en pente* sont différentes de celles posées aux surfaces de plaine ou légèrement en pente du Plateau. Souvent, il est impossible ou disproportionné de réaliser des pistes d'accès au chantier temporaires constituées de matériaux apportés. C'est pourquoi des solutions adaptées aux conditions locales sont nécessaires, au regard du type de piste et de l'emplacement de celle-ci. Des pistes composées des matériaux du sous-sol en place ou le décapage d'une fine couche de sol, végétation comprise (plaques ou mottes de gazon) ont fait leurs preuves. En raison de la forte hétérogénéité naturelle du milieu et des exigences liées à la construction, le type d'accès et son emplacement ne peuvent, la plupart du temps, être définis que directement sur place, avec toutes les parties intéressées.

Lors de l'installation de pistes d'accès sur une surface en pente, les problèmes suivants peuvent survenir : le glissement latéral des pistes constituées de grave, la résistance réduite des pistes constituées de grave en raison d'une plus faible traction des véhicules de transport ou encore le dérapage des véhicules sur les matelas en rondins lorsqu'ils sont humides. Afin d'atténuer ces effets secondaires négatifs, un ajustement de la déclivité au moyen d'un décapage latéral du sol ou le renforcement de la piste constituée de grave à l'aide d'une couche de revêtement sont envisageables.

En fonction de la pente, des mesures de sécurité visant à protéger les sols hors du périmètre de construction doivent être prises. Des digues, des panneaux de coffrage ou des solutions de recouvrement temporaires peuvent empêcher l'érosion et le glissement des pierres et des matériaux terreux³⁸.

Il peut être judicieux de décaper complètement le sol à protéger (couche supérieure et éventuellement couche sous-jacente) et d'entreposer provisoirement les matériaux terreux jusqu'à leur remise en état, en particulier pour des accès de chantier prévus sur des *sols dont la couche supérieure est posée directement sur le sous-sol (horizons A et C) ou lorsque des interventions de génie civil sont nécessaires pour réaliser des installations de chantier et des places de montage* (p. ex. structures de montage avec des fondations solides).

³⁸ Directives pour la végétalisation en altitude. Association pour le génie biologique. Bulletin n° 3/2019, point 5.1 « Vorbereitung Baustelle », p. 33 (en allemand).

4.4 Décapage du sol et déplacement des matériaux terreux

En cas de décapage du sol et de déplacement des matériaux terreux, il importe que les travaux sollicitent le moins possible la structure du sol. Les pelles hydrauliques à chenilles sont généralement employées pour de nombreuses interventions sur les sols. Pour certaines étapes spécifiques, les travaux peuvent également être réalisés avec d'autres machines de chantier³⁹. Leur utilisation doit être envisagée en fonction du projet et des propriétés pédologiques, en association avec des mesures de protection des sols supplémentaires éventuellement requises.

Le décapage approprié du sol se fait par couches et bandes successives, la couche supérieure et la couche sous-jacente du sol devant être décapées séparément⁴⁰. L'utilisation d'une pelle hydraulique à chenilles munie d'un godet à bord lisse a fait la preuve de son efficacité pour les travaux de décapage sur de grandes surfaces. Les méthodes de travail prélevant le sol (avec une pelle) sont en principe préférables à celles le poussant (p. ex. avec des buteurs ou des chargeuses à chenilles).

Remarque

Le sol décapé peut être contaminé par des polluants et contenir des organismes exotiques envahissants (p. ex. des espèces végétales indésirables) et des substances étrangères. Lorsque, dans le cadre d'un projet de construction, des matériaux terreux décapés sont excédentaires, il convient de déterminer s'ils sont soumis à l'obligation de valoriser. Les exigences légales pertinentes pour évaluer l'aptitude de ces derniers à la valorisation figurent dans le module « Évaluation des sols en vue de leur valorisation » de l'aide à l'exécution « Construire en préservant les sols ».

4.4.1 Mesures standard

Les mesures suivantes de protection des sols relatives au décapage du sol et au déplacement des matériaux terreux sont considérées comme adéquates⁴¹.

Décapage du sol et déplacement des matériaux terreux

- Si la force de succion est inférieure à 6 cbar, les matériaux terreux ne peuvent pas être déplacés étant donné que la résistance du sol à la compaction est insuffisante.
- Si la force de succion est supérieure ou égale à 6 cbar, le sol peut être travaillé et les matériaux terreux peuvent être déplacés.
- La couche supérieure et la couche sous-jacente du sol doivent être décapées (et non poussées) séparément.

4.4.2 Mesures différenciées

En raison de la sensibilité de leur structure, les *sols minéraux hydromorphes* ne doivent dans l'idéal pas être décapés, en particulier si l'installation est temporaire. Si le décapage ne peut être évité, les travaux

³⁹ Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, point 3.7.1 « Machines de chantier – critères de sélection pour l'appel d'offre », p. 62 ss.

⁴⁰ Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, point 3.7.2. « Procédés de décapage des emprises terrassées », p. 64 s.

⁴¹ Cf. Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, point 3.7 « Choix des machines et des procédés de décapage », p. 60 s.

correspondants ne doivent en aucun cas être réalisés par des machines dont les effets de cisaillement altèrent la structure du sol.

Les *sols organiques* ne devraient si possible pas être décapés non plus, en particulier si l'installation est temporaire. S'ils sont décapés, la différenciation des couches peut se rapporter à la part de matière organique, à la présence d'éléments minéraux (horizons organo-minéraux ou couches intermédiaires minérales) ainsi qu'au degré de décomposition de la matière organique (ou tourbe).

En particulier pour les *sols alluviaux*, la variabilité à petite échelle (p. ex. épaisseur des horizons, classe texturale et pierrosité) a généralement des conséquences sur les mesures de protection des sols qui s'imposent. Par exemple, les sols sableux sont nettement moins sensibles à la compaction et, en cas de sollicitations temporaires, peuvent davantage être laissés sur place et soumis à une charge.

En altitude, le maintien de la végétation existante est rendu difficile du fait de la brève période de végétation et de la végétation spécifique (p. ex. arbrisseaux nains). Selon l'épaisseur du sol et le type de végétation, il faut soit décapier les plaques (mottes) de gazon avec toute la zone d'enracinement (surtout en altitude et si les sols sont peu épais), soit décapier séparément la couche supérieure et la couche sous-jacente du sol⁴². En altitude, les avantages de la méthode de décapage par des plaques de gazon sont notamment la faible atteinte physique portée au sol (travail possible même sur un sol humide), la conservation de la végétation typique de la station, y compris de la zone d'enracinement et des organismes du sol, et la protection contre l'érosion lors de la remise en état, même sans mesures de génie biologique sur des surfaces d'une pente supérieure à 30°⁴³. Par ailleurs, cela permet de réduire les surfaces nécessitant un réensemencement.

Dans le cas du décapage de *sols en milieu forestier*, selon les propriétés pédologiques et l'épaisseur des horizons, il est envisageable de ne pas procéder à une séparation stricte de la couche supérieure et de la couche sous-jacente du sol. En présence de litière (ou après élimination des résidus de bois et d'écorces), il peut être judicieux de la décapier avec la couche supérieure du sol généralement peu épaisse, et de séparer ainsi la couche sous-jacente du sol. Si les sols sont dénués de litière, la couche supérieure du sol est peu épaisse et la couche sous-jacente du sol est profonde et stratifiée (p. ex. si les sols ont une texture qui devient plus fine ou plus pierreuse avec la profondeur), alors la couche supérieure du sol peut être décapée avec la partie supérieure de la couche sous-jacente du sol et séparée du reste de cette dernière.

4.5 Entreposage provisoire des matériaux terreux

Pendant la construction, il est fréquent que les matériaux terreux issus du décapage de la couche supérieure et de la couche sous-jacente du sol ne soient pas réutilisés immédiatement et qu'il soit nécessaire de les entreposer provisoirement. Si le dépôt est correctement réalisé (emplacement, forme, hauteur) et exploité, la structure du sol peut être préservée même après plusieurs années d'entreposage.

⁴² Environnement et aménagement du territoire dans les projets d'installations à câbles. Aide à l'exécution à l'intention des autorités, des entreprises de remontées mécaniques et des spécialistes de l'environnement. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2013. L'environnement pratique n° 1322, point 8.2 « Protection des sols », p. 155 s.

⁴³ Directives pour la végétalisation en altitude. Association pour le génie biologique. Bulletin n° 3/2019, point 6.3 « Begrünungsverfahren », p. 39 ss (en allemand).

4.5.1 Mesures standard

Les mesures suivantes de protection des sols relatives à l'entreposage provisoire des matériaux terreux décapés sont en principe considérées comme adéquates⁴⁴.

Entreposage provisoire des matériaux terreux

- Les matériaux terreux sont déposés directement sur le sol en place (même si l'entreposage est de longue durée)⁴⁵.
- Les matériaux terreux issus du décapage de la couche supérieure et de la couche sous-jacente du sol de même les sols présentant différentes caractéristiques (p. ex. teneur organique, pierrosité) ou différents degrés de pollution (atteintes chimiques ou biologiques ou substances étrangères) sont entreposés séparément. Lorsque des sols pollués sont entreposés provisoirement, il y a lieu de s'assurer que le sol situé en dessous ne subisse pas une pollution supplémentaire.
- La hauteur standard des dépôts (raffermis) est respectée. Une hauteur maximale de 1,5 m pour la couche supérieure du sol et de 2,5 m pour la couche sous-jacente du sol est indiquée. Elle peut varier légèrement en fonction de la durée d'entreposage, des propriétés du sol et de la forme du dépôt.
- La base du dépôt est drainante (elle ne se situe pas dans une cuvette dans la mesure du possible, sinon un drainage est prévu). Les eaux de surface doivent pouvoir s'écouler librement du dépôt.
- Les dépôts doivent être constitués de sorte que leur entretien soit possible (p. ex. emplacement et accès).
- Lors de la constitution de dépôts parallèles à la pente, des dispositifs favorisant l'infiltration de l'eau sont installés et, s'il le faut, d'autres mesures sont prises pour capter les eaux de ruissellement en amont du dépôt.
- Les dépôts de matériaux terreux sont immédiatement végétalisés. L'ensemencement doit garantir la croissance rapide d'une couverture végétale et un enracinement profond. Cela permet un ressuyage rapide du dépôt et empêche l'apparition de plantes indésirables (p. ex. adventices problématiques). Des exceptions sont possibles si la durée d'entreposage est très courte.
- Les dépôts de matériaux terreux sont exploités et entretenus. Leur entretien inclut une fauche régulière, y compris l'enlèvement du produit de la fauche.
- Les dépôts de matériaux terreux sont surveillés afin de détecter la présence de plantes indésirables. Les cas échéant, celles-ci sont désherbées. Si des plantes exotiques envahissantes apparaissent, des mesures spécifiques sont prises.
- L'ensemencement et l'entretien des dépôts se font lorsque le sol est suffisamment ressuyé et portant, avec des machines agricoles aussi légères que possible, jusqu'à un poids total de 3 t (voir également point 4.2). Les dépôts de petite taille ou en andain peuvent être ensemencés à la main et exploités avec des débroussailluses. Lorsque les dépôts ont été constitués il y a plusieurs années, le petit bétail (p. ex. moutons) peut servir à l'entretien des cultures (durée de pacage adaptée) dès que la densité de la végétation est suffisante (en principe à partir de la troisième période de végétation).
- Si de mauvaises herbes prolifèrent sur un dépôt à décapier, il convient de les enlever au préalable (racines comprises) ou d'en réduire autant que possible la quantité par un traitement désherbant de toute la surface.

⁴⁴ Cf. Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, point 3.9 « Procédés d'entreposage provisoire des matériaux terreux », p. 68 ss.

⁴⁵ En cas d'entreposage provisoire de graves autres que les couches supérieure et sous-jacente du sol, telles que les matériaux d'excavation et de percement, les tas sur le sol en place ne doivent pas dépasser 3,5 à 4 m de haut. Calcul : charge sur la surface limitée à env. 8 t/m² (4 m³ × env. 1,8 t) ; avec une pression simultanée dans les zones de contact de 0,8 à 1 kg/cm² au maximum, le sol peut être soumis à une charge à 10 cbar.

4.5.2 Mesures différenciées

Les *matériaux terreux contenant une part de matière organique supérieure à 30 %* doivent de préférence être valorisés directement après le décapage ou être entreposés au maximum pendant un mois. Des mesures supplémentaires doivent être étudiées, telles que des dépôts plus hauts⁴⁶ ou des dépôts dans des cuvettes humides. Comme ces matériaux terreux peuvent considérablement changer lors de l'entreposage, il convient, dans la mesure du possible, de renoncer à leur décapage (p. ex. en cas de sollicitation temporaire). Un entreposage plus long peut entraîner une dégradation de la matière organique.

Dans les *zones de montagne*, il est difficile de végétaliser les dépôts provisoires des couches supérieure et sous-jacente du sol décapées du fait de la brève période de végétation et, dans les terrains en pente, les dépôts doivent le plus souvent être protégés contre l'érosion à l'aide de mesures techniques. C'est pourquoi le sol est en général entreposé avec le matériel végétal présent sur le site (autochtone) sous forme de plaques de gazon, réserve de semences comprise. Les plaques de gazon doivent être empilées de manière compacte, traitées avec ménagement et protégées contre le dessèchement. Dans la pratique, il s'est révélé judicieux d'étendre un géotextile (fonction de séparation) sous le dépôt à des fins de protection. Une réutilisation des plaques de gazon sans entreposage provisoire permet une conservation optimale de la végétation. En outre, la réutilisation directe réduit les emprises sur les sols, car aucune surface n'est requise pour entreposer des matériaux terreux.

4.6 Remise en place des matériaux terreux et remise en état des sols

Après une intervention de génie civil ou une emprise temporaire, les sols sont remis dans leur état initial. L'utilisation d'une pelle hydraulique à chenilles munie d'un godet à bord lisse a fait la preuve de son efficacité pour la remise en place des matériaux terreux. Certaines étapes de travail peuvent également être réalisées avec d'autres machines de chantier, dont l'utilisation peut être envisagée en fonction du projet et des propriétés pédologiques, en association avec des mesures de protection des sols supplémentaires éventuellement requises.

Sols modifiés par des interventions de génie civil

Dans le cadre d'une reconstitution du sol, le sous-sol ainsi que les matériaux d'excavation et de percement sont mis en place sur le remblai nivelé portant conformément à l'objectif de remise en état (p. ex. épaisseur en fonction de la profondeur utile ou propriétés de la couche supérieure du sol selon la classe d'aptitude). Les matériaux d'excavation peuvent également être déposés comme couche de faible épaisseur (le cas échéant non porteuse) sous la couche sous-jacente du sol, par exemple pour accroître la distance avec les eaux souterraines situées en contrebas. Les exigences s'appliquant à une telle couche intermédiaire peuvent différer considérablement de celles liées au remblai nivelé et doivent être définies en fonction du projet.

Sols sollicités temporairement

Les sols sollicités de manière temporaire, c'est-à-dire soumis à une charge, mais non modifiés par des interventions de génie civil, doivent être également être remis en état et inclus dans la phase de remise en culture. Même si la charge appliquée est adéquate, il n'est pas rare que la couche supérieure du sol soit compactée et doive être ameublie mécaniquement. La profondeur du décompactage dépend ici de la profondeur de la zone compactée et doit être déterminée au cas par cas. Le plus souvent, le compactage se limite à une

⁴⁶ Du fait de la hauteur accrue, il se peut qu'une quantité moindre de matière organique entre en contact avec l'air, ce qui ralentit le processus de décomposition (p. ex. des matériaux organiques et fibreux peu décomposés qui présentent une faible densité apparente).

partie de la couche supérieure du sol. Les outils appropriés pour effectuer un décompactage sont les machines et appareils agricoles tels qu'une herse ou un cultivateur. Les pelles équipées d'un godet par exemple ne sauraient remplacer de manière adéquate les appareils agricoles pour les tâches de décompactage.

4.6.1 Mesures standard

Les mesures suivantes de protection des sols relatives à la remise en place des matériaux terreux et à la remise en état des sols sont considérées comme adéquates⁴⁷.

Remise en place des matériaux terreux et remise en état des sols

- La reconstitution d'un sol se fait sur un remblai nivelé portant, garantissant un drainage afin que les eaux superficielles puissent être évacuées. Le drainage peut par exemple être assuré par un remblai nivelé perméable, une inclinaison suffisante de celui-ci ou des dispositifs favorisant l'infiltration de l'eau.
- En fonction de la stratégie de drainage adoptée, le remblai nivelé est décompacté mécaniquement pour une meilleure connexion hydrique entre le sous-sol et le sol avant la remise en place de ce dernier.
- La couche supérieure et la couche sous-jacente du sol sont remises en place par couches et bandes successives, sans compactage actif, à l'aide d'une pelle hydraulique à chenilles (située à côté du remblai nivelé).
- En fonction des propriétés et du ressuyage du sol (p. ex. si le sol est très sec et que sa texture est grossière), les couches de sol remises en place sans tassement sont légèrement pressées à l'aide du godet de la pelle posé à plat. Cela permet de prévenir les tassements différentiels ainsi que l'érosion.
- Avant la remise en culture, les sols sollicités de manière temporaire doivent être décompactés à l'aide d'appareils et de machines agricoles appropriés de sorte qu'il ne reste aucune zone compactée.

4.6.2 Mesures différenciées

Dans les *petites surfaces des zones de montagne*, il est important d'adapter le remblai nivelé aux exigences de remise en état définies et aux conditions locales. Par conséquent, son inclinaison peut être irrégulière et il peut être doté d'éléments structurels superficiels. Entre ces derniers sont par exemple appliquées des plaques de gazon avec végétation. Avant la remise en place des plaques de gazon, le matériau sous-jacent doit être préparé de manière à favoriser une implantation rapide. La technique des plaques de gazon n'est possible que si ces dernières sont parcourues par un important réseau de racines qui consolide fermement la plaque. Par ailleurs, les cavités entre les plaques de gazon doivent être remplies de matériaux terreux autochtones non tassés et les plaques de gazon doivent être protégées du dessèchement même après la remise en place⁴⁸.

La remise en place des matériaux terreux doit être axée sur l'objectif de végétalisation. Une surface de sol irrégulière offre des niches protectrices aux graines, réduit l'érosion et ralentit le dessèchement. Dans les zones de montagnes, la part de terre fine devrait être d'au moins 30 % pour un enherbement. Si tel n'est pas le cas, il est possible d'apporter une couche de matériau de texture fine. Sur des surfaces agricoles exploitées plus intensivement, du compost, du fumier, du foin et de la paille peuvent être répandus. Les semences doivent être adaptées à l'altitude, au type de sol (alcalin ou acide) et inclure des espèces « structurantes » (en général Poaceae – graminées) et quelques légumineuses (Fabaceae – papilionacées)⁴⁹. Une fertilisation initiale peut se

⁴⁷ Cf. Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, point 3.10 « Procédés de reconstitution ou de remise en place des sols après travaux (« ouvrage sol ») », p. 70 ss.

⁴⁸ Directives pour la végétalisation en altitude. Association pour le génie biologique. Bulletin n° 3/2019, point 6.3 « Begrünungsverfahren », p. 39 ss (en allemand).

⁴⁹ Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, p. 86.

révéler utile⁵⁰. Pour éviter l'érosion, une stabilisation rapide des sols remis en place doit être assurée. Ainsi, des nattes de couverture (p. ex. natte de protection contre l'érosion) peuvent être utilisées pour recouvrir les matériaux terreux ; il peut être nécessaire également de creuser de petits fossés de drainage⁵¹. La végétalisation rapide (y compris avec des plantes à enracinement profond) favorise la protection contre l'érosion. À l'inverse, le gyrobroyage des terrains rocaillieux accentue l'érodibilité⁵². Pour prévenir les dégâts liés à l'érosion, la couverture végétale après la mise en place de la couche supérieure du sol et de l'ensemencement devrait atteindre au moins 70 %⁵³.

Pour la *valorisation du sol d'un chantier situé en milieu forestier en dehors du périmètre de la forêt*, il faut tenir compte des propriétés chimiques du sol. Les sols en milieu forestier affichent généralement des propriétés qui se distinguent nettement de celles caractérisant les sols agricoles (p. ex. pH). La présence de racines dans un sol décapé ne diminue pas l'aptitude des matériaux terreux à la valorisation, mais les souches, les racines de la taille d'un bras et les branches sont indésirables dans un sol à valoriser car, en fonction de leur grosseur, elles empêchent le travail mécanique et peuvent exiger des efforts supplémentaires pour déplacer les matériaux terreux. En outre, lors de la remise en état de surfaces agricoles, il n'est pas souhaitable que la couche arable contienne des racines et ces dernières doivent être enlevées au préalable (p. ex. par tamisage). Si le sol n'est pas utilisé à des fins agricoles, la présence de racines dans la couche supérieure ne pose en général pas de problème.

Dans de rares cas, on procède à une *remise en place des matériaux terreux avec enherbement intermédiaire* de la couche sous-jacente. Cela signifie que la remise en place de la couche sous-jacente et celle de la couche supérieure du sol ne sont pas simultanées. La couche sous-jacente du sol est la première à être remise en place sur toute la surface. Puis, elle est ensemencée (enherbement intermédiaire). Ce n'est qu'une année après au plus tôt que la couche supérieure est remise en place⁵⁴. L'enherbement intermédiaire présente l'avantage de structurer et d'activer biologiquement la couche sous-jacente du sol avant la remise en place de la couche supérieure. Les racines créent des pores verticaux qui favorisent le transport de l'air et de l'eau. Toutefois, la remise en place des matériaux terreux avec enherbement intermédiaire n'est plus envisagée que dans des cas isolés (avant tout lorsque la couche sous-jacente est remise en état après un entreposage provisoire de plusieurs années), car, actuellement, l'on utilise principalement des pelles hydrauliques à chenilles pour déplacer des matériaux terreux, lesquelles permettent la remise en place de plusieurs couches de sol sans circuler sur les matériaux terreux fraîchement déposés.

⁵⁰ Directives pour la végétalisation en altitude. Association pour le génie biologique. Bulletin n° 3/2019, point 6.4 « Zusatzstoffe », p. 42 ss (en allemand).

⁵¹ Environnement et aménagement du territoire dans les projets d'installations à câbles. Aide à l'exécution à l'intention des autorités, des entreprises de remontées mécaniques et des spécialistes de l'environnement. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2013. L'environnement pratique n° 1322, p. 155.

⁵² Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, point 1.6.3 « Chantiers en zone de montagne du Jura », p. 31 s. ; Environnement et aménagement du territoire dans les projets d'installations à câbles. Aide à l'exécution à l'intention des autorités, des entreprises de remontées mécaniques et des spécialistes de l'environnement. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2013. L'environnement pratique n° 1322, p. 156.

⁵³ Das Stabilitätspotential alpiner Geoökosysteme gegenüber Bodenstörungen durch Skipistenbau. Mosimann T., 1984. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Volume 12, p. 167–176 (en allemand).

⁵⁴ Directive pour la manipulation appropriée du sol. Association suisse de l'industrie des graviers et du béton (ASGB), 2021. Point 7.5.3 « Remise en place du sol avec enherbement intermédiaire », p. 55 ss.

4.7 Remise en culture

La remise en culture débute après la remise en état des sols ou après une emprise temporaire⁵⁵. Elle a pour but de stabiliser les matériaux terreux fraîchement déposés, de rétablir le système poral et de favoriser l'activité biologique. La remise en culture se poursuit jusqu'à la réalisation de l'objectif de remise en état (la plupart du temps, après trois à cinq périodes de végétation). Les mesures de travail du sol et d'entretien nécessaires pendant la remise en culture dépendent des propriétés pédologiques, de la nature et de l'ampleur des interventions sur le sol ainsi que de l'état du sol après la remise en place des matériaux terreux. Tout comme durant la phase qui précède le début des travaux, les objectifs de rendement de l'exploitation agricole revêtent une importance secondaire pendant la phase de remise en culture.

4.7.1 Mesures standard

Les mesures suivantes de protection des sols relatives à la remise en culture sont en principe considérées comme adéquates.

Remise en culture

- Il ne faut circuler sur un sol qu'à l'état sec et avec des machines légères (voir point 4.2).
- L'ensemencement se fait avec un mélange contenant des plantes à enracinement profond, qui forment rapidement une couverture végétale. Le mélange de semences est choisi en fonction de l'objectif de remise en état, de l'exploitation prévue pendant la remise en culture et des conditions climatiques et pédologiques (en règle générale, en mélange trèfle-graminées avec une proportion élevée de légumineuses à enracinement profond).
- L'ensemencement doit, en général, être réalisé immédiatement après la remise en état. Si la remise en état a lieu à la fin de l'automne, il n'est pas indiqué d'attendre jusqu'au printemps ; en effet, après une période de précipitations printanière intensive, le sol ne peut souvent pas être traité mécaniquement pendant des semaines. Les mélanges fourragers pluriannuels peuvent également être semés à l'automne. En revanche, il n'est que rarement judicieux de semer des cultures intercalaires ou de transition.
- Les semis et les cultures sont exploités et entretenus. L'exploitation inclut une coupe de nettoyage après l'ensemencement, puis une fauche régulière. Le produit de la fauche est mis de côté et utilisé comme paillis à l'automne. Les plantes indésirables et les plantes exotiques envahissantes font l'objet d'une lutte.
- Lors de la première période de végétation (éventuellement aussi lors de la seconde), aucune fertilisation azotée (p. ex. fumier) n'est utilisée et, en règle générale, il faut renoncer à épandre du purin pendant toute la remise en culture afin de favoriser la croissance des racines en profondeur. D'autres nutriments ou oligo-éléments peuvent être ajoutés sur la base des analyses pédologiques.
- Pendant les trois premières périodes de végétation, le pacage du gros bétail est proscrit. Le pacage extensif du petit bétail (p. ex. moutons) peut être envisagé dès la troisième période de végétation.
- La durée de la remise en culture dépend de l'ampleur de l'intervention sur le sol. Pour les sols reconstitués, une exploitation extensive des prairies pendant au moins trois périodes de végétation a fait ses preuves. Sur les parcelles dédiées aux grandes cultures, une transition respectueuse des sols vers des cultures arables doit également être assurée (de préférence, blé ou colza après la première réaffectation au lieu des cultures sarclées, des légumes de plein champ, des betteraves sucrières ou du maïs, par exemple).

⁵⁵ Des recommandations détaillées concernant la remise en culture figurent dans les fiches cantonales ainsi que dans la Directive pour la manipulation appropriée du sol. Association suisse de l'industrie des graviers et du béton (ASGB), 2021. Chapitre 9 « Affectation ultérieure – Remise en culture ou en fonction », p. 65 ss.

-
- La durée de la remise en culture des sols non décapés, mais temporairement sollicités, dépend de l'état effectif de ces derniers. Elle peut être nettement plus courte que celle des sols reconstitués.
 - Les objectifs poursuivis et les mesures prises pendant la remise en culture sont convenus par écrit avec le propriétaire foncier et les exploitants, puis contrôlés par le titulaire de l'autorisation (la plupart du temps, le maître d'ouvrage).
 - La durée de la remise en culture est prolongée si des défauts sont constatés. Les mesures de correction des défauts ne doivent pas être prises trop tôt, car la situation et l'étendue de ceux-ci peuvent changer considérablement au cours des deux premières périodes de végétation (p. ex. zones humides).

Annexe

A1 Réalisation de tranchées de petite taille (tranchées en U)

La pose de câbles et de conduites de petite taille (jusqu'à approximativement 1,2 m de profondeur dans une tranchée d'une largeur de 0,6 m environ) a lieu de préférence pendant la période de végétation. Ces chantiers linéaires s'étendent sur de longues distances et touchent des sols qui peuvent différer notablement en matière de propriétés, d'utilisation et d'état actuel. Toutefois, ils n'occupent qu'une surface restreinte de l'exploitation.

En raison des cultures en cours, la pose de conduites enterrées dans de petites tranchées conventionnelles sur les surfaces agricoles est parfois réalisée en dehors de la période de végétation. De telles interventions dans le sol en place sont envisageables même avec une faible force de succion si l'emprise se situe en bordure de parcelles et que les travaux peuvent être réalisés avec des outils et des machines de petite taille (poids inférieur à 5 t). L'évaluation de l'humidité du sol servant à déterminer les valeurs limites d'engagement des machines peut s'effectuer au moyen d'un test tactile (voir point 4.2).

Lorsque les tranchées sont étroites et lorsque l'intervention est brève, on peut renoncer à la remise en culture et procéder directement à une exploitation agricole sans restrictions.

Les mesures standard suivantes permettent de garantir un maniement approprié du sol lors de la pose de câbles et de conduites de petite taille ou d'autres travaux similaires de réalisation de tranchées (p. ex. drainages)⁵⁶.

Mesures pour la réalisation de tranchées de petite taille (tranchées en U)

- Les différentes propriétés du sol doivent être prises en compte dans le choix du tracé, dans la localisation des installations de chantier et dans la planification de l'organisation du chantier.
- Dans la mesure du possible, la circulation des machines a lieu sur les routes et les chemins existants (p. ex. transports).
- Le sol est décapé uniquement au niveau de la tranchée (sur la largeur de la tranchée), les véhicules à chenilles circulent sur le sol en place.
- Lors de l'excavation de la tranchée, les couches pédologiques sont décapées séparément, les matériaux terreux sont entreposés puis remis en place au terme de l'intervention. En règle générale, trois couches sont concernées : la couche supérieure du sol, la couche sous-jacente du sol et le sous-sol.
- Les matériaux terreux, séparés par couches, sont déposés en andain à côté de la tranchée et de la zone de circulation des machines de chantier.
- Si la pose de conduites ou le lit de pose génère un excédent de matériaux terreux, ce sont les matériaux d'excavation qui sont évacués (et non pas la couche supérieure ou la couche sous-jacente du sol).
- Le remplissage de la tranchée respecte l'ordre des couches.
- La couche supérieure et la couche sous-jacente du sol sont remplacées sans compactage actif. Le bombement de la couche supérieure du sol dû au foisonnement disparaît avec le temps ; seul le sous-sol est activement tassé.

⁵⁶ Sols et constructions. État de la technique et des pratiques. Office fédéral de l'environnement (OFEV), 2015. Connaissance de l'environnement n° 1508, point 4.4 « Chantiers linéaires de pose de conduites et de câbles enterrés », p. 95 ss.

Remarque

Lors de planification et de la pose de conduites de plus grande taille dans des tranchées plus profondes, dans des tranchées en V ou dans des tranchées réalisées avec des machines spéciales (p. ex. charrue à câble, trancheuse), les mesures de protection des sols doivent être, en fonction du projet, adaptées individuellement aux propriétés du sol et aux machines disponibles. Dans ce cas, il convient de se référer aux explications fournies au chapitre 4 sur le maniement approprié du sol du point de vue de la technique de construction.

A2 Limites d'engagement des machines pour la circulation sur les sols et le décapage

A2-1 Force de succion minimale pour une utilisation des machines qui ménage le sol

L'état d'humidité du sol peut être quantifié par la mesure de la force de succion. L'appareil de mesure le plus répandu est le tensiomètre. Lorsque le sol est saturé en eau (p. ex. au niveau des eaux souterraines), la force de succion est nulle. Dès que l'eau percole en profondeur, s'évapore ou est utilisée par les plantes, c'est-à-dire que les cavités du sol (pores) se vident de leur eau, le phénomène physique de la succion est à l'œuvre (pression inférieure à la pression atmosphérique). Pour déterminer la portance du sol, la force de succion est mesurée de manière unitaire à une profondeur de 30 à 35 cm (pointe de la bougie en céramique pour une profondeur de 35 cm) pour la détermination de la portance.

Le tableau 3 indique les forces de succion minimales pour l'engagement des machines à des fins de décapage du sol, de déplacement des matériaux terreux et de circulation sur le sol. En pratique, l'évaluation de la résistance mécanique doit être établie en fonction non seulement de la force de succion mais aussi du volume des précipitations.

Tableau 3

Force de succion minimale (en cbar) pour un maniement des sols et un engagement des machines

cbar	Humidité et état du sol	Possibilités d'utilisation
< 6	Le sol est mouillé et adhère au godet.	La résistance du sol est insuffisante : • les matériaux terreux ne peuvent pas être manipulés (décapés et déplacés) ; • il ne faut ni circuler ni appliquer de charge sur le sol.
6 à 10	Le sol est humide et pétrissable, il n'adhère pas au godet.	La portance du sol est insuffisante pour la circulation des véhicules ; des travaux sans circulation sont envisageables : • les matériaux terreux peuvent être manipulés (décapés et déplacés) ; • il ne faut ni circuler ni appliquer de charge sur le sol.
≥ 10	Le sol est humide et friable, il se déverse librement dans le godet.	Des machines de chantier à chenilles peuvent circuler sur le sol. La limite effective d'engagement d'une machine est fixée à partir du nomogramme (voir annexe A2-2) et des caractéristiques techniques de la machine en question.
≥ 25	Le sol est sec.	Des engins de chantier dotés de pneus conventionnels (p. ex. petits dumpers sur pneus) peuvent rouler sur le sol en place dans la mesure où la charge par roue ne dépasse pas 2,5 t et la pression dans les zones de contact est inférieure à 0,5 kg/cm ² .

A2-2 Détermination des limites d'engagement des machines de chantier à chenilles pour la circulation sur le sol

Le nomogramme servant à évaluer les interventions admises des machines de chantier à chenilles sur le sol (figure 2⁵⁷) montre les limites d'engagement en fonction de la pression au sol, du poids total de la machine et de la force de succion mesurée à l'aide de tensiomètres à une profondeur de 30 à 35 cm (pointe de la bougie en céramique pour une profondeur de 35 cm). L'intersection entre la pression au sol (lignes horizontales) et la charge opérationnelle (lignes verticales) donne la limite d'engagement en cbar (force de succion minimale nécessaire ; lignes obliques) pour une machine spécifique.

La limite d'engagement d'une machine de chantier à chenilles peut être déterminée non seulement à l'aide du nomogramme, mais aussi sur la base de la formule ci-après (voir exemples dans le tableau 4).

Calcul de la limite d'engagement des machines de chantier à chenilles

Force de succion minimale nécessaire [cbar] =
poids total de la machine [t] × pression au sol [kg/cm²] × 1,25

Tableau 4

Exemples de limites d'engagement spécifiques pour des machines de chantier à chenilles

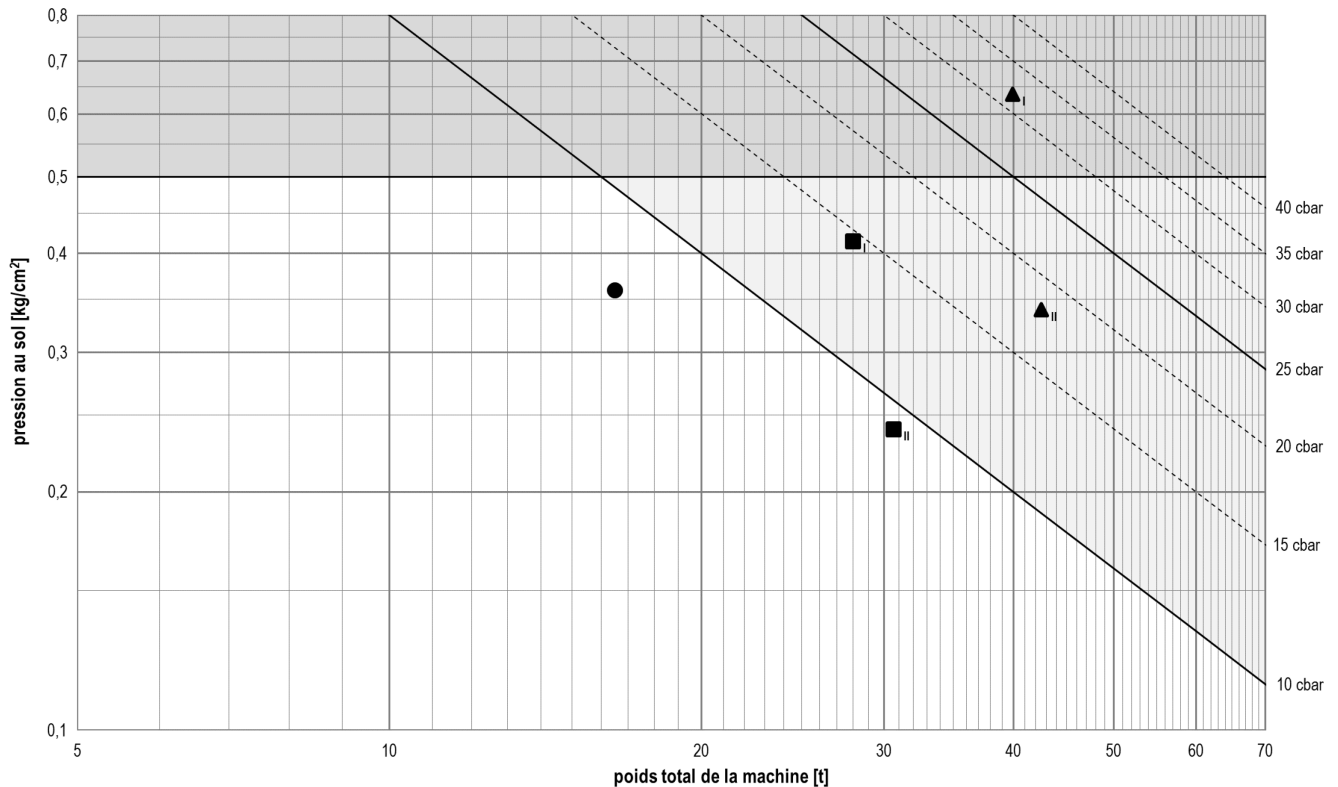
	Poids total [t]	Largeur de chenilles [mm]	Pression au sol [kg/cm ²]	Force de succion minimale nécessaire [cbar]	Possibilités d'utilisation
●	16,5 t	700 mm	0,36 kg/cm ²	7,4 cbar	Peut circuler sur le sol à partir de 10 cbar. Même si cette machine de chantier à chenille présente selon les calculs une limite d'engagement de 7,4 cbar, le sol en place, dont la force de succion est inférieure à 10 cbar, n'a pas une portance suffisante pour permettre la circulation.
■ _I	28,0 t	800 mm	0,415 kg/cm ²	14,5 cbar	Peut circuler sur le sol à partir de 14,5 cbar.
■ _{II}	30,63 t	800 mm	0,24 kg/cm ²	9,2 cbar	Avec un matelas en rondins ^{a)} comme dispositif de protection, cette machine de chantier à chenille peut être utilisée dès 10 cbar.
▲ _I	39,9 t	700 mm	0,64 kg/cm ²	31,7 cbar	La pression au sol de cette machine de chantier à chenille dépasse 0,5 kg/cm ² . Par conséquent, cette machine ne doit pas être utilisée directement sur le sol, même si la limite d'engagement calculée est respectée. Elle ne peut circuler que sur un dispositif de protection.
▲ _{II}	42,53 t	700 mm	0,34 kg/cm ²	18,0 cbar	Avec un matelas en rondins ^{a)} comme dispositif de protection, cette machine de chantier à chenille peut être utilisée dès 18 cbar.

^{a)} Emploi d'un matelas en rondins : 6 rondins de bois (5 m × 2,5 m × 0,3 m) à 700 kg/m³ donnent un poids mort de 2,63 t. La surface de contact s'élève à 12,5 m².

⁵⁷ Directives pour la protection des sols lors de la création de conduites souterraines de transport (Directives pour la protection des sols). Office fédéral de l'énergie (OFEN), 1993, révision en 1997. Annexe 6 « Nomogramme : limites d'utilisation de machines de chantier ».

Figure 2

Nomogramme servant à déterminer les limites d'engagement des machines de chantier à chenilles pour la circulation sur le sol



- Blanc :** La limite d'engagement calculée sur la base des caractéristiques techniques d'une machine de chantier à chenille correspond à une force de succion inférieure à 10 cbar. Cependant, le sol dispose d'une portance suffisante pour la circulation des machines uniquement à partir d'une force de succion de 10 cbar. Par conséquent la machine de chantier à chenille peut circuler sur le sol à partir d'une force de succion de 10 cbar (voir exemple ●).
- Gris clair :** La limite d'engagement calculée sur la base des caractéristiques techniques d'une machine de chantier à chenille correspond à une force de succion égale ou supérieure à 10 cbar. Par conséquent, cette machine peut circuler sur le sol à partir de la limite d'engagement calculée (voir exemple ■). Si la force de succion dans le sol est inférieure à la limite d'engagement calculée sur la base des caractéristiques techniques d'une machine, il est possible de réduire la pression au sol en se servant de dispositifs de protection temporaires (p. ex. matelas en rondins, voir point 4.3), ce qui rend cette machine utilisable (voir exemple ■).
- Gris foncé :** Si la pression au sol d'une machine de chantier dépasse 0,5 kg/cm² (voir exemple ▲), celle-ci ne peut être utilisée que dans la mesure où un dispositif de protection est mis en place (p. ex. des matelas en rondins ; voir point 4.3). Il est possible de déroger à ce principe pour les machines dont le poids total est faible (sous réserve d'un examen technique). Il faut tenir compte de la force de succion minimale nécessaire même lorsque des dispositifs de protection temporaire sont utilisés (voir exemple ▲).

Remarque

Les machines de chantier à chenille dont le poids total est inférieur à 5 t ne sont pas représentées sur le nomogramme. Leur utilisation sur le sol doit faire l'objet d'une évaluation spécifique au projet par une personne qualifiée.

L'installation de dispositifs de protection est soumise aux mêmes prescriptions techniques concernant l'état d'humidité du sol que la circulation sur ce dernier (voir point 4.2). La pose de dispositifs de protection temporaire (p. ex. matelas en rondins, plaques mobiles rigides) ou de dispositifs de protection constitués de grave non traitée n'est admise que si le sol présente une portance suffisante, c'est-à-dire en présence d'une force de succion égale ou supérieure à 10 cbar. La force de succion minimale doit être prise en compte également lors de travaux à effectuer sur un dispositif de protection temporaire.