

**Directives pour la protection des sols
lors de la création
de conduites souterraines de transport**

(Directives pour la protection des sols)

1er janvier 1997

Sommaire

1. Introduction
2. But
3. Champ d'application
4. Bases légales
5. Cartographie du sol
 - 5.1 But
 - 5.2 Périmètre
 - 5.3 Données nécessaires pour la demande de concession (EIE, 1^{re} étape)
 - 5.4 Données nécessaires pour l'approbation des plans (EIE, 2^e étape)
 - 5.4.1 Levés de terrain
 - 5.4.2 Cartographie des sols et mise en valeur
6. Préparatifs, construction, remise en état et remise en culture
 - 6.1 Généralités
 - 6.2 Projet de construction
 - 6.3 Préparatifs
 - 6.4 Construction
 - 6.4.1 Généralités
 - 6.4.2 Critères déterminant l'utilisation de machines de chantier pour une section
 - 6.4.3 Décision d'autoriser l'emploi de machines de chantier pour une section
 - 6.5 Remise en état, remise en culture avant restitution des parcelles
7. Transition vers une rotation normale des cultures
8. Dispositions transitoires
9. Entrée en vigueur

Annexes

- Annexe 1** Exemple indicatif de cartographie des sols par section
- Annexe 2** Exemple de mise en valeur de la cartographie - tableau récapitulatif avec mesures préconisées
- Annexe 3** Schéma « d'arbre décisionnel pour la détermination de la sensibilité à la compaction du sous-sol »
- Annexe 4** Explications concernant le schéma de l'arbre décisionnel
- Annexe 5** Détermination de la précompaction
- Annexe 6** Nomogramme: limites d'utilisation de machines de chantier
- Annexe 7** Le tensiomètre
- Annexe 8** Exemple de cahier des charges pour spécialiste de la protection des sols
- Annexe 9** Chantier en ligne - exemples

1. Introduction

Les conduites pour le transport de combustibles ou carburants liquides ou gazeux (appelées ci-après « conduites ») servent à l'approvisionnement en énergie; leur réalisation revêt un intérêt public.

Il est également d'intérêt public de protéger les sols, donc d'éviter les atteintes inutiles ou qui pourraient être prévenues, en particulier des compactages. En tant qu'élément naturel poreux et non inerte, le sol (c.-à-d. la couche de terre meuble, dans laquelle les plantes peuvent croître) réagit avec plus ou moins de sensibilité - suivant le degré d'humidité - à la circulation des véhicules. Sa teneur en eau et en argile est déterminante pour juger de sa praticabilité.

On ne peut éviter complètement les dommages au sol (surtout les compactages résultant des atteintes mécaniques). Cependant, dans les limites du raisonnable, tout doit être entrepris pour permettre à la couche supérieure du sol de se régénérer dans un délai d'environ 2 ans et pour éviter tout compactage persistant du sous-sol.

Après trois ans d'application pratique, les directives pour la protection des sols du 14 mai 1993 ont été révisées et adaptées à l'état actuel de la théorie et de la pratique dans le cadre d'un groupe de travail. Celui-ci était composé de représentants de l'Office fédéral de l'énergie, de l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, de l'Inspectorat fédéral des pipelines, de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich, des services cantonaux chargés de l'application de l'Osol, de l'industrie du gaz et d'un spécialiste des sols indépendant. Ces directives pour la protection des sols (DPS) remplacent les directives du 14 mai 1993.

Ces directives devront être périodiquement révisées pour être au besoin adaptées à l'état des connaissances et des expériences pratiques.

Dans des cas particuliers, on pourra s'écarter de ces directives, d'un commun accord entre l'Office fédéral de l'énergie, le concessionnaire et les services de protection des sols des cantons concernés.

2. But

Ces directives ont pour objectif de permettre la construction des conduites de transport tout en ménageant le sol. Par l'uniformisation des exigences posées pour le dossier de requête, la procédure d'approbation, l'appréciation du projet et la formulation des conditions et des charges, on prévient les conflits entre les promoteurs et les personnes touchées par les projets en question.

3. Champ d'application

Ces directives s'appliquent à la construction et à la remise en état des conduites enterrées servant au transport de pétrole, de gaz ou de tout autre combustible ou carburant liquide ou gazeux désigné par le Conseil fédéral, selon l'art. 5 de l'ordonnance sur les installations de transport par conduites (RS 746.11).

4. Bases légales

- Loi fédérale sur les installations de transport par conduites du 4 octobre 1963 (RS 746.1)
- Loi sur la protection de l'environnement du 7 octobre 1983 (RS 814.01), révision du 21 décembre 1995
- Loi sur les forêts du 4 octobre 1991 (RS 921.01)
- Manuel sur les EIE, septembre 1990
- Communications sur l'EIE « Sol et EIE » de mars 1991.

5. Cartographie du sol

5.1 But

Les sols doivent être cartographiés principalement pour déterminer leur sensibilité au compactage.

La carte des sols doit:

- Rendre compte de l'état du sol avant l'intervention;
- Rendre attentif suffisamment tôt aux endroits sensibles du tracé;
- Permettre d'ajuster la méthode de construction à la sensibilité du sous-sol et à l'épaisseur de la couche supérieure du sol;
- Permettre de planifier la construction et les délais en tenant compte de manière optimale des difficultés liées à la protection des sols.

5.2 Périmètre

La cartographie s'étendra aux zones dans lesquelles il faut s'attendre à des répercussions sur l'environnement lors de la construction ou de l'exploitation de la conduite de transport (par exemple la piste de construction).

5.3 Données nécessaires pour la demande de concession (EIE, 1^{re} étape)

Les données et les informations concernant les sols ne seront relevées que dans la mesure où elles sont indispensables pour la détermination du tracé dans le cadre de la demande de concession et pour la mise au point du cahier des charges de la 2^e étape de l'EIE.

5.4 Données nécessaires pour l'approbation des plans (EIE, 2^e étape)

5.4.1 Levés de terrain

Les levés de terrain ont pour but de caractériser les sols en fonction de leur sensibilité au compactage et à leur remise en culture. Les caractéristiques suivantes seront relevées:

- Description du profil du sol avec ses horizons et leur épaisseur;
- Régimes de l'air et de l'eau;
- Types de sol, y compris sa pierrosité;
- Structure du sol et sa densité;
- Pentes et dévers;
- Conditions particulières;
- Type d'utilisation.

Les levés de terrain s'appuieront sur les documents existants, sur une préanalyse du périmètre, basée sur la géomorphologie, sur des sondages à la tarière et des profils (un profil par type morphologique et des sondages à la tarière) et, si nécessaire, par des analyses en laboratoire. Les rapports de terrain et les analyses en laboratoire doivent être tenus à la disposition des services compétents de la Confédération et des cantons.

Au cas où le requérant souhaiterait tenir compte de l'état de précompaction des sols dans son évaluation de la sensibilité au compactage, il devra déterminer l'état de précompaction à l'aide des courbes de tassement (annexe 5). Les protocoles des mesures seront remis aux services compétents de la Confédération et des cantons avec la demande de mise à l'enquête des plans.

5.4.2 Cartographie des sols et mise en valeur

Les résultats des levés de terrain, en particulier les appréciations de la sensibilité au compactage et d'éventuelles contraintes pour la construction figureront sur une carte des sols à l'échelle 1: 10'000 ou 1: 5'000. Chaque section délimitée comportera des indications sur sa longueur, sur le type de sol en fonction de sa sensibilité au compactage, les pentes ou dévers importants, les emplacements de chantiers spéciaux, ainsi que d'éventuelles prescriptions particulières quant au mode de construction: par ex. décapage (exemple annexe 1).

La sensibilité du sous-sol au compactage sera évaluée selon le schéma de « l'arbre décisionnel pour la détermination de la sensibilité à la compaction du sous-sol » (annexe 3). L'attribution à un type de sol déterminera en particulier comment le « nomogramme - limites d'utilisation de machines de chantier » doit être appliqué (annexe 6).

Les cartes des sols seront accompagnées de tableaux de mise en valeur comprenant les facteurs les plus importants pour chaque section (pierrosité, teneur en argile, type de sol, épaisseur de la couche supérieure du sol, régime hydrique, catégorie de sensibilité à la compaction, mesures à prendre lors de la construction, pentes et dévers importants, longueur de la section) (cf. exemple indicatif de cartes des sols et de tableaux, annexes 1 et 2).

6. Préparatifs, construction et remise en culture

6.1 Généralités

Les plans des mesures à prendre qui doivent être joints au projet de construction seront remis aux services cantonaux chargés de la protection des sols. Le concessionnaire doit veiller à ce que la concordance soit assurée avec le cahier des charges de soumission.

La planification du projet de construction, ainsi que celle des travaux de construction et de remise en culture seront supervisées par des spécialistes de la protection des sols. Ces spécialistes seront choisis après consultation de services cantonaux chargés de la protection des sols concernés par le projet. Avec la direction du chantier, ils assureront le respect des directives de la protection des sols (DPS) et accompagneront le chantier jusqu'à la remise des parcelles aux propriétaires ou aux exploitants.

Le concessionnaire dressera le cahier des charges du spécialiste des sols, en accord avec les services cantonaux compétents (voir le modèle de cahier des charges à l'annexe 8).

Les propriétaires touchés ainsi que les exploitants devront être informés à temps, au plus tard avant la signature des contrats de servitude, de toutes les conséquences découlant du projet de construction. On les renseignera en particulier sur la largeur du tracé, le mode de construction, la durée probable de la période où ils auront à subir des inconvénients, l'enherbement de la piste de roulement, les prestations d'indemnisation, la remise en culture, les éventuelles limitations d'exploitation et les mesures de protection (y compris l'arrêt des travaux) en cas de conditions défavorables. Au cours des travaux, le concessionnaire du projet tiendra compte autant que possible des propositions et suggestions émises par les propriétaires et les exploitants.

6.2 Projet de construction

Les exigences posées par une construction qui ménage le sol doivent être concrétisées dans les plans des mesures; elles seront réparties dans:

- Les préparatifs du chantier;
- La phase de construction;
- La remise en état et en culture.

Les plans des mesures indiquent par exemple d'éventuels décapages ou des mesures particulières obligatoires. Le mode de construction sera indiqué, dans la mesure du possible, dans les plans de construction. Il faut distinguer entre les précautions normales, prises pour une construction usuelle et les mesures spéciales, à prendre pour des sections particulièrement sensibles à la compaction.

Pour protéger le sous-sol, dans les prés et les champs couverts de végétation, le décapage des sols se limitera en règle générale à la largeur de la fouille. Lors de la planification de la construction, on décidera à quelle phase du chantier le décapage

devra être effectué en fonction de la topographie, du profil du sol, des caractéristiques du sol et de la sensibilité du sous-sol au compactage (annexe 9).

En forêt, cette manière de faire n'est pas applicable, vu la nécessité de défricher et d'extraire les souches (ce qui provoque un mélange des couches du sol et du sous-sol). Il faut cependant s'assurer qu'après les travaux, on dispose de suffisamment de matériaux terreux pour la remise en état.

6.3 Préparatifs

Avant le début des travaux, les services cantonaux chargés de la protection des sols recevront une liste des machines de chantier, comprenant leur poids total et leur pression au sol, ainsi qu'un calendrier actualisé des travaux.

On sèmera de l'herbe sur la piste de construction là où elle traverse des zones de culture (il faudra prévoir au minimum 3 mois de croissance pendant la période de végétation et s'y prendre si possible avant le 15 août de l'année précédente afin que l'évapotranspiration facilite le ressuyage des sols.) Au lieu d'un semis herbager, on pourra également utiliser des céréales en place.

6.4 Construction

6.4.1 Généralités

Les mesures de protection à prendre pendant la construction sont basées sur les plans de mesures et dépendent de l'état du sol et des conditions météorologiques locales.

Si le sol s'y prête et si les conditions météorologiques sont favorables, l'activité de construction devra être prolongée au-delà de l'horaire de travail normal.

Durant la construction, les spécialistes de la protection des sols vérifieront régulièrement l'exactitude des cartes des sols, afin d'adapter si nécessaire les mesures de protection aux nouvelles conditions. Si des différences importantes sont constatées, le service cantonal chargé de la protection des sols sera consulté.

6.4.2 Critères déterminant l'utilisation de machines de chantier pour une section

Les critères principaux d'évaluation pour l'utilisation de machines de chantier sont d'une part, la sensibilité à la compaction du sol pour une section déterminée par la cartographie du sol (chiffre 5.4.2) et d'autre part, le poids total de la machine et sa pression spécifique au sol (nomogramme, annexe 6). La sensibilité d'un sol à la compaction à un moment donné est évaluée par la mesure de la force de succion du système poral à l'aide de tensiomètres (annexe 7).

Des critères supplémentaires pour conforter une décision sont les conditions météorologiques (quantité de précipitations), la nature locale du sol, l'évapotranspiration, le mode de construction, etc.

6.4.3 Décision d'autoriser l'emploi de machines de chantier pour une section

Si l'utilisation de certaines machines ne répond pas aux critères mentionnés au chiffre 6.4.2 des directives sur la protection du sol, l'expert de la protection des sols ordonne l'arrêt des travaux en question ou demande des mesures supplémentaires, afin de compenser la résistance insuffisante du sol aux compactages.

Dans des cas litigieux, la décision d'autoriser l'emploi ou non est prise sur place. Pour ce faire, en plus du spécialiste de la protection des sols et de la direction du chantier, on consultera également le représentant de la commission d'indemnisation et l'exploitant ou le propriétaire concerné.

Si la direction des travaux conteste la décision, un accord à ce sujet doit être recherché entre le concessionnaire et le service cantonal de la protection des sols.

Le service cantonal de la protection des sols peut également exiger du concessionnaire l'arrêt de certains travaux ne répondant pas aux critères des directives pour la protection des sols.

En cas de désaccord, c'est à l'OFEN qu'il appartient de trancher en dernier recours, après audition des parties (concessionnaire, services de la protection du sol, etc.).

Dans l'attente d'une décision (dans le délai d'un jour ouvrable), c'est la requête du spécialiste de la protection des sols envers la direction des travaux ou du service de la protection des sols envers le concessionnaire qui fait foi.

6.5 Remise en état, remise en culture avant restitution des parcelles

Le comblement de la fouille sera effectué, en règle générale, à la rétropelle. En remettant en place le sous-sol, on veillera soit à compenser le tassement naturel en mettant suffisamment de matériaux, soit à le déposer de manière qu'il ne se tasse plus.

Un éventuel sous-solage devra se limiter aux zones qui auraient été fortement compactées.

Avant de remettre en place l'horizon supérieur, on enlèvera les grosses pierres dans la mesure où cela est nécessaire et compte tenu de la situation avant l'ouverture de la fouille. Le passage de véhicules sur les sols fraîchement remis en place sera évité.

Le choix du mélange herbager sera effectué en accord avec l'exploitant concerné. Une bonne stabilisation de la structure du sol est favorisée par les mélanges à base de trèfles-graminées ou de luzernes inoculées-graminées. La préparation du lit de semence et le semis seront effectués en un seul passage.

Si la saison est trop avancée pour permettre l'installation d'un herbage, il est recommandé d'installer un engrais vert, auquel succédera un herbage dès le printemps suivant. Dans tous les cas il faut proscrire les sarclées et le maïs.

Environ 4 à 6 semaines après le semis, si nécessaire, et après accord avec l'exploitant, on procédera à une intervention contre les adventices (lampés, chardons, etc.)

Lors de la restitution des terrains utilisés au propriétaire ou à l'exploitant, après la phase de remise en culture, un procès - verbal de restitution sera dressé qui mentionnera les mesures à prendre pendant la phase de transition.

7. Transition vers une rotation normale des cultures

Lorsque les travaux du chantier auront été effectués dans de bonnes conditions, la couverture herbagère sera, en règle générale, maintenue durant 12 mois à partir de son installation. Dans les zones où un sous-solage supérieur à 50 cm de profondeur aura été effectué, on maintiendra la couverture herbagère pendant au moins deux années et on l'utilisera si possible pour la production de foin et de regains. Si la surface enherbée est supérieure à 50 ares (p. ex. s'il s'agit d'une station de stockage de pointe dans des conduites) il faut recommander l'installation d'une prairie extensive.

On renoncera à rouler sur la parcelle avec des machines pesantes lorsque le terrain est engorgé. La fauche et la récolte des herbages doit être effectuée uniquement sur des sols bien réssuyés et avec des machines légères munies de roues jumelées. Lorsque les conditions sont mauvaises, on renoncera de récolter l'herbe coupée. Sur les surfaces récemment remises en état ou qui ont été sous-solées, on renoncera durant 12 mois à tout épandage de lisier ou de purin.

Sur des sols peu profonds ayant un sous-sol graveleux, la pâture est à proscrire durant au moins 12 mois. Sur des sols sableux perméables, la pâture est à proscrire durant au moins 18 mois. Sur des sols argileux, lourds et engorgés, la pâture est à proscrire durant au moins 24 mois. Si, en plus, le sous-sol a été sous-solé, ces périodes d'interdictions de pâture devront être étendues de cas en cas. Lorsque le bétail qui est mis au pâturage doit traverser une zone remise en culture, on créera des passages protégés (p. ex. avec des planches ou des copeaux). Les surfaces à éviter seront clôturées.

La mise en place de maïs ou de sarclées, compte tenu de la nature du sous-sol et d'un éventuel sous-solage, est également proscrite pendant les périodes indiquées ci-avant.

Des passages protégés seront installés là où l'accès aux parcelles voisines doit être assuré. Leur accès sera balisé.

A la fin de la période de transition, lorsque cela est possible et si l'assolement de l'exploitation le permet, on recommandera de pratiquer d'abord une rotation céréalière.

Pour ses pertes et dérangements, l'exploitant sera indemnisé par le concessionnaire dans le cadre des contrats d'emprise. Si les prescriptions concernant la remise en culture et la période de transition sont gravement transgressées, une réduction des indemnisations devra être envisagée.

Les services cantonaux chargés de la protection des sols et les autres services cantonaux concernés conseilleront et soutiendront les exploitants et le concessionnaire dans leurs efforts pour une remise en culture optimale.

8. Dispositions transitoires

Les directives du 14 mai 1993 seront appliquées aux projets de conduites qui ont été mis à l'enquête avant l'entrée en vigueur des présentes directives.

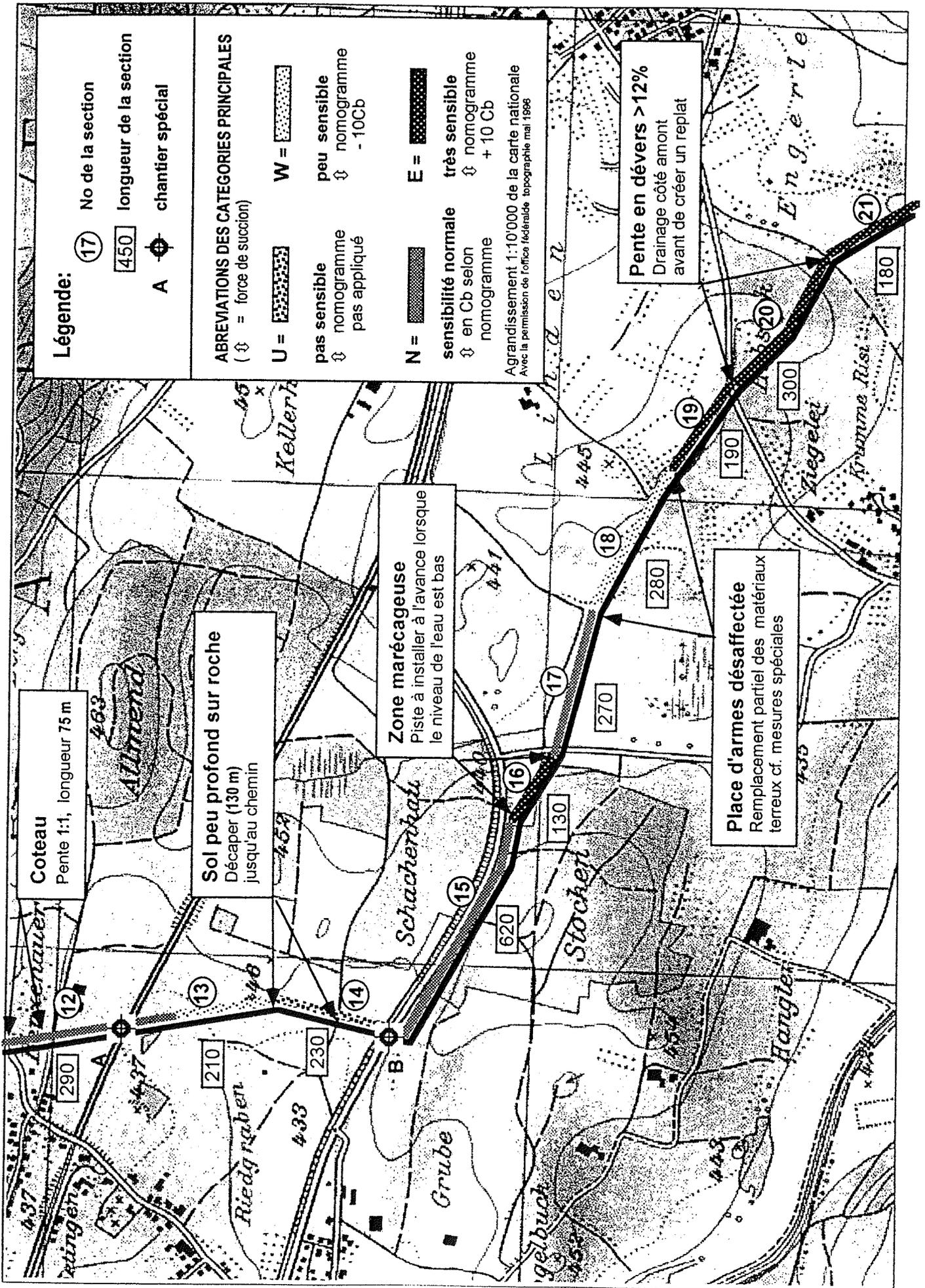
Les directives 1997 pourront être appliquées à des projets qui ont été mis à l'enquête avant leur entrée en vigueur, pour autant qu'ils satisfassent aux conditions et aux exigences énumérées aux chiffres 5 et 6.1 à 6.3.

9. Entrée en vigueur

Les présentes directives entrent en vigueur au 1^{er} janvier 1997.

ANNEXES

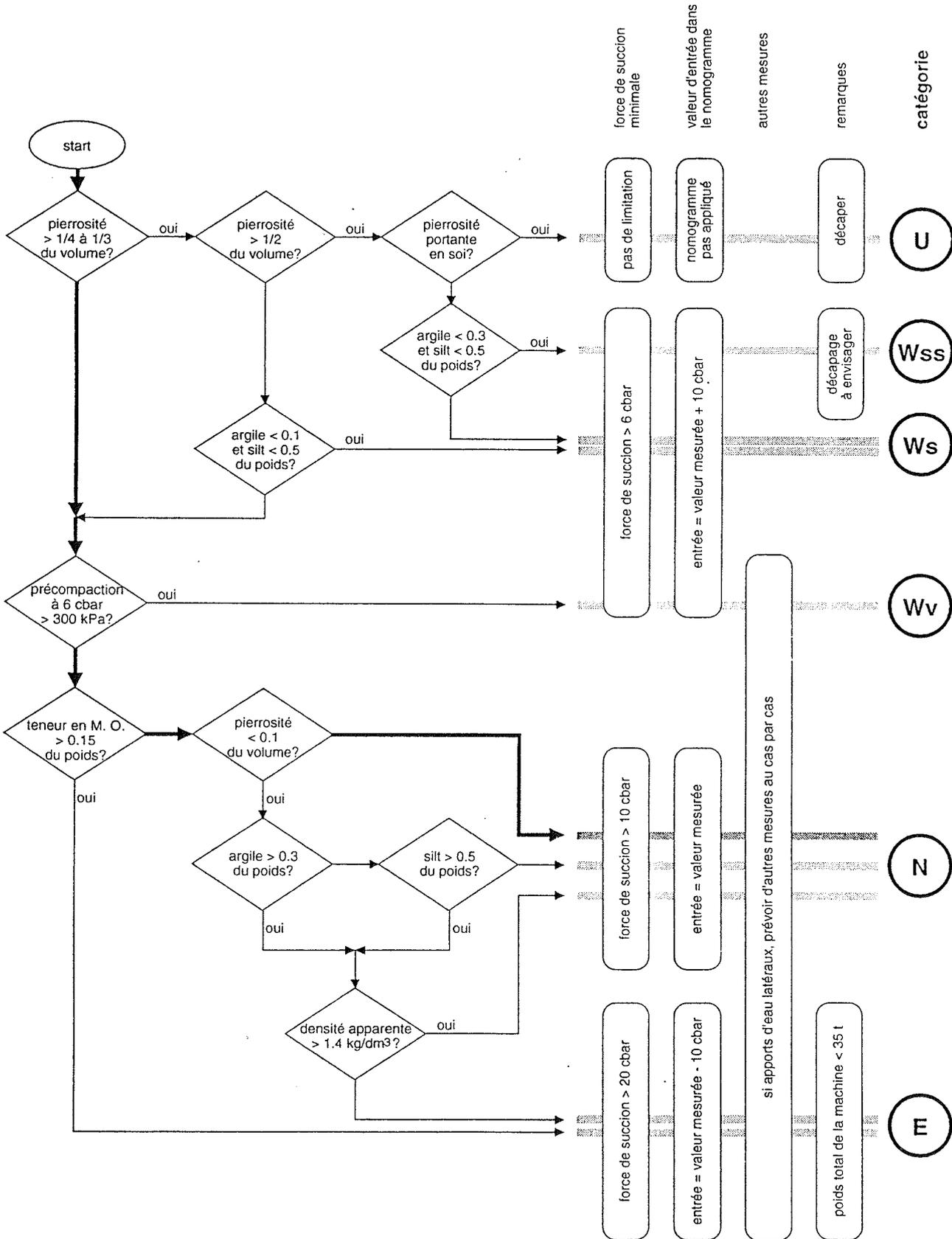
Annexe 1 Exemple indicatif de cartographie des sols par section



Annexe 2 Exemple de mise en valeur de la cartographie - tableau récapitulatif avec mesures préconisées

Descriptions des sections avec mesures préconisées										Longueur(s) des sections			
section no.	texture argile et pierrosité	type de sol	épaisseur de la couche supérieure	régime hydrique	catégorie de sensibilité	topographie	mesures	catégorie U	catégorie W	catégorie N	catégorie E		
12	L/ska	sol brun profond	30	perméable	N	coteau (75 m)				290			
13	IS/skr	sol brun régosolique	15-20	très perméable	Ws		décaper	230	210				
14	S/eskr	Lithosol	<15	très perméable	U								
15	L/skh	sol brun profond	25	perméable	N					620			
16	IU/skf	soils organiques	20	fortement engorgé	E		pose d'une piste				130		
17	uL/skh	sol brun lessivé	25	perméable	N					270			
18	sL/skr	Anthroposol*)	<20	imperméable	Wv		assainir		280		190		
19	IU/skf	sol brun	25	nappe perchée	E						300		
20	uT/skh	gley de pente	20	eaux de pente	E	fort dévers	drainer				180		
21	IL/skh	sol brun-pseudogley	20	nappe perchée temporaire	E		évent. piste						
Mesures: (brève description par section)								Total par catégorie	230	490	1180	800	
12	Coteau dans la région de Lenzenauer. Remplacer le mur de soutènement en dessous de la route par des gabions, prévoir de fixer la pente avec des buissons												
14	Dans la partie supérieure de la bosse décaper soigneusement (dès le chemin sur 130 m en direction du nord).												
16	En été, lorsque la nappe est basse, installer une piste provisoire sur une distance de 130 m (5 m de large).												
18	*) remblai partiel, ancienne place d'armes (excaver la zone des butts, env. 2500 m ³ selon le programme spécial de l'instance cantonale concernée.												
20	Avant de niveler la pente, poser un drainage du côté de la pente (PE Ø 12 cm, 1.5 - 2 m de profondeur) remplir la fouille de gravier.												
21	Sols ressuyant très mal, garder en réserve des pistes en rondins pour toute la section.												

Annexe 3 Schéma "d'arbre décisionnel pour la détermination de la sensibilité à la compaction du sous-sol"



Catégorie de sensibilité au compactage:

- U pas sensible
- Wss (très) peu sensible, car pierrosité très élevée
- Ws peu sensible, car pierrosité élevée
- Wv peu sensible, car fortement précompactée
- N sensibilité normale
- E très sensible

Annexe 4 Explications concernant le schéma de l'arbre décisionnel

L'arbre décisionnel fixe la marche à suivre pour répartir les sols cartographiés du tracé - par section - en catégories basées sur la sensibilité à la compaction du sous-sol. Cette classification détermine la façon dont le nomogramme pour les limites d'utilisation des machines de chantier est utilisé en fonction de la force de succion, c-à-d. qu'elle fixe la force de succion minimale nécessaire. De même, elle fixe la manière dont est établie la valeur d'entrée dans le nomogramme à partir des valeurs de succion mesurées et les cas où on peut renoncer totalement à appliquer le nomogramme. Ce schéma indique également des mesures complémentaires et des restrictions particulières.

Les catégories principales sont les suivantes:

- N sensibilité normale;
- W peu sensible;
- E très sensible;
- U pas sensible.

La catégorie W a été subdivisée en 3 catégories supplémentaires:

- Ws peu sensible, car pierrosité élevée;
- Wss (très) peu sensible, car pierrosité très élevée;
- Wv peu sensible, car fortement précompactée.

Cette subdivision part du principe que la sensibilité à la compaction dépend aussi bien de la répartition des fractions granulométriques, que des précompactations préexistantes (précompactations mesurées en tant qu'atteintes préexistantes).

Les catégories Ws et Wss englobent les sols riches en pierres et en graviers grossiers qui ne peuvent pas - ou uniquement par des pressions au sol très élevées - être compactés au point que les pores grossiers ne puissent plus assurer le ressuyage des sols et leur aération. Dans les cas les plus extrêmes (Wss), la pierrosité forme une structure porteuse qui est apte à supporter les charges auxquelles elle sera soumise. Cette capacité n'est pas seulement fonction du degré de pierrosité (en règle générale $\frac{2}{3}$ à $\frac{3}{4}$ du volume et plus), mais également du type de pierrosité (résistance, forme des pierres) et du type d'arrangement (imbrication, surfaces de contact entre les pierres).

La catégorie Wv est fréquente lorsqu'on est en présence de sol géogène, c.-à-d. qui a été fortement comprimé par le poids d'un glacier au cours de la dernière glaciation et qui n'a plus été ameubli depuis, de telle sorte que leur sous-sol est à ce point tassé que le roulage des machines de chantier - sauf en cas d'humidité très élevée ou d'engorgement - ne peut pas le compacter encore plus.

L'attribution à une catégorie s'effectue sur la base des paramètres correspondants relevés lors des campagnes de terrain pour l'étude du projet (2^e phase). Pour les paramètres relatifs aux fractions granulométriques (pierrosité, argile et silt), comme pour la teneur en matière organique, il s'agira de valeurs estimées lors de la description des profils par test tactile ou évaluation visuelle. Le relevé et l'interprétation de ces paramètres devront être effectués par des spécialistes formés en pédologie et disposant d'expérience pratique en matière de cartographie de terrain.

La précompaction et la densité apparente seront déterminées au laboratoire sur des échantillons non remaniés. La précompaction sera établie sur la base de la courbe de tassement.

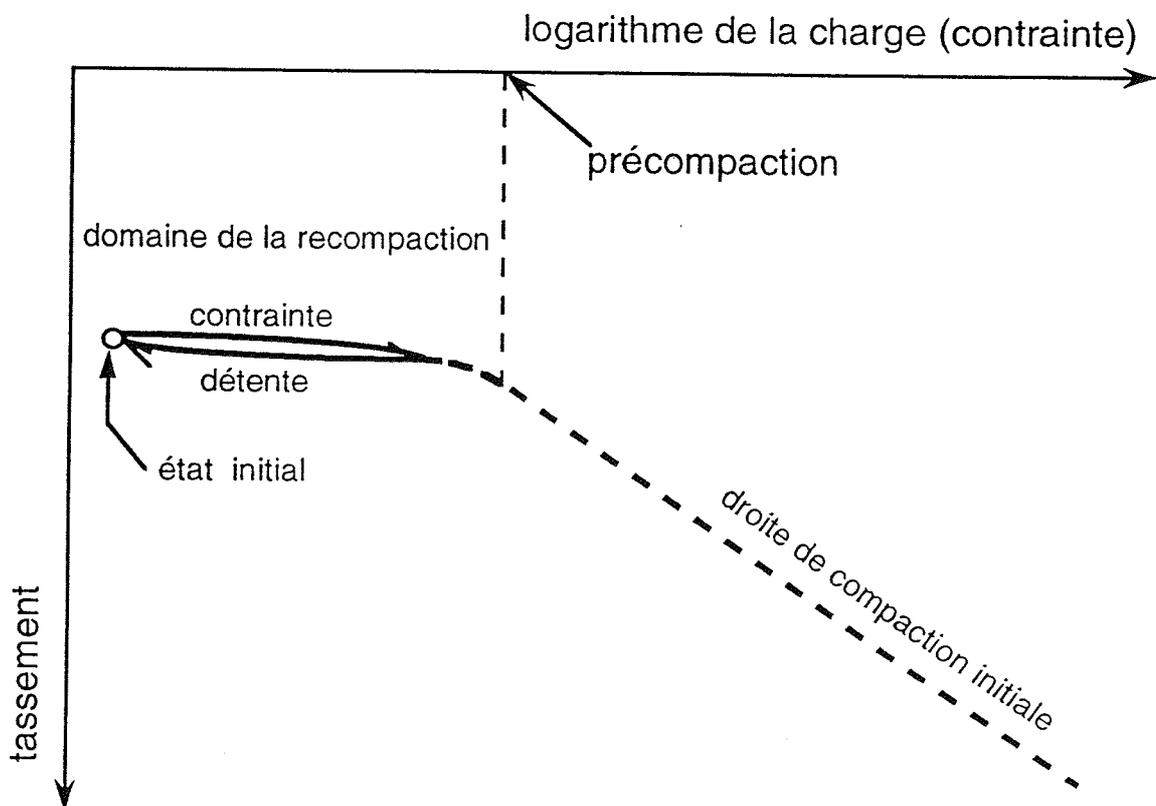
Le principe de l'arbre décisionnel repose sur le fait qu'un paramètre doit avoir été vérifié pour qu'on puisse répondre par « oui » à la question considérée. Si le critère n'a pas été vérifié de manière satisfaisante ou qu'il n'est pas rempli, alors c'est l'autre solution proposée qui doit être suivie (correspond à « non »). Dans le cas où un critère n'a pas été relevé, c'est toujours la flèche en gras qui doit être suivie (correspond à la catégorie « sensibilité normale »).

Annexe 5 Détermination de la précompaction

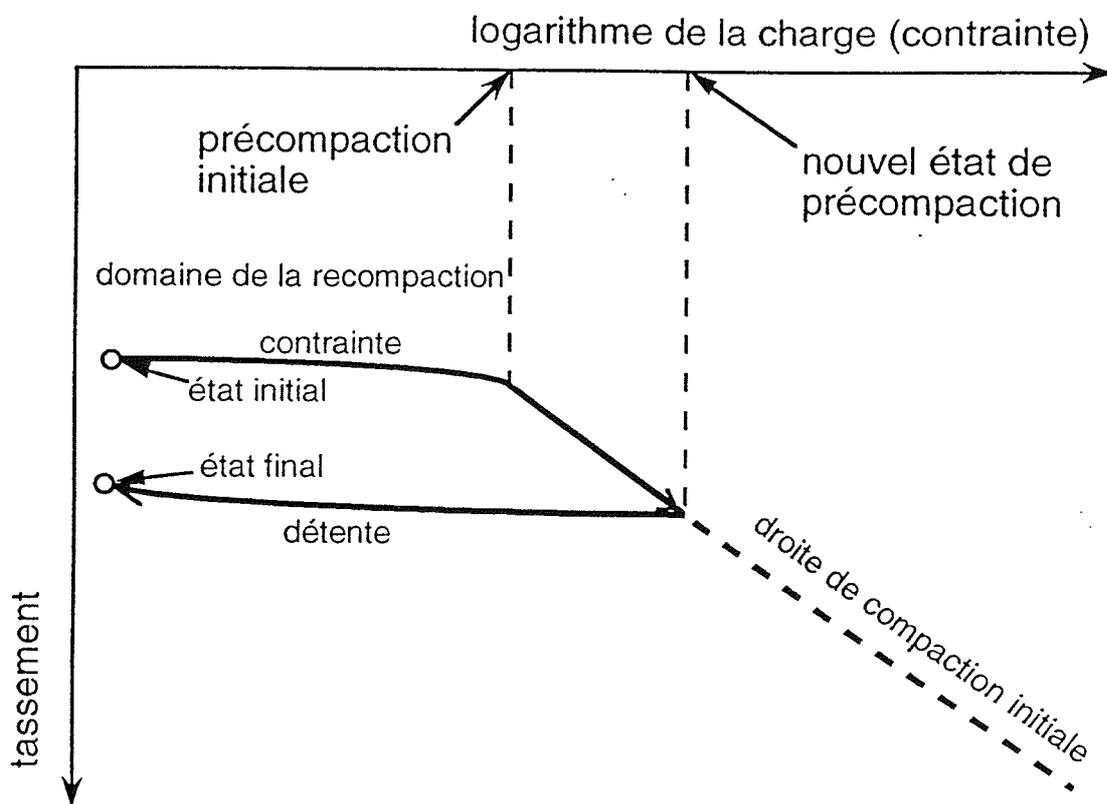
Détermination de la précompaction à l'aide des courbes de tassement (test à « l'œdomètre »)

Le niveau de précompaction d'un sol est un indicateur de la sensibilité d'un sol au compactage. En simplifiant, on peut affirmer qu'elle indique dans quelle mesure un sol donné a déjà été compacté, et, par conséquent, jusqu'à quelle charge (contrainte) on peut estimer qu'il n'en résultera pas d'atteinte supplémentaire.

Une nouvelle atteinte ne provoquera - jusqu'au niveau de la précompaction - qu'une compaction élastique, c.-à-d. réversible. Après avoir été soumis à une pression, le sol reprend son état initial (fig. 1a: atteinte dans le domaine de recompaction).



Lorsque la contrainte dépasse le niveau de la précompaction initiale, la déformation plastique s'ajoute à la déformation élastique, il se produit donc un tassement irréversible (fig. 1b: atteinte dans le domaine de la droite de compaction initiale). La contrainte maximale exercée induit le nouveau niveau de précompaction.

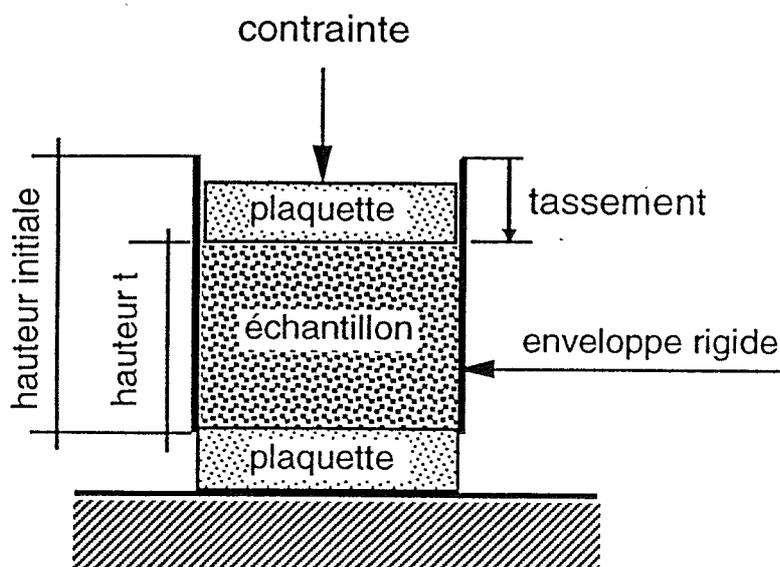


Au sens strict du terme, le niveau de précompaction n'est pas une valeur, c'est une résultante de l'état du sol. Le facteur principal étant l'état d'humidité du sol, un sol humecté est, par principe, bien moins sujet à la compaction qu'un sol desséché. Cela signifie que la précompaction pour une même contrainte n'est pas constante lorsque l'humidité d'un sol varie.

Comment mesurer le niveau de précompaction?

La courbe de tassement est établie à l'aide du test de « l'œdomètre » (cf. fig. 2). Un échantillon non remanié de sol est enfermé dans un cylindre, une contrainte est exercée sur la face supérieure de l'échantillon et le tassement du sol qui en résulte est mesuré.

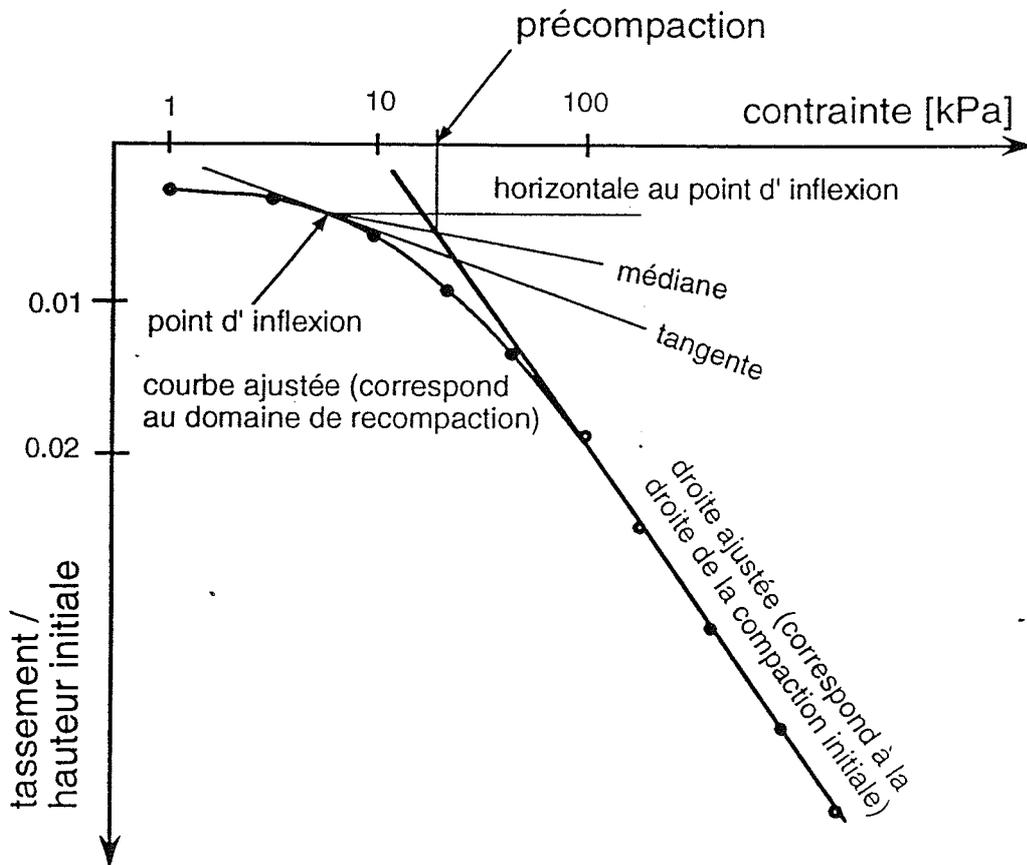
L'état d'humidité du sol influençant fortement le niveau de précompaction, il est important que l'humidité de l'échantillon soit normalisée pour le test. Les critères retenus pour l'arbre décisionnel (cf. annexe 3), postulent qu'une force de succion de 6 cbars (capacité au champ) est maintenue tout au long du test.



Si l'on rapporte le tassement mesuré pour une contrainte donnée qui est exprimée logarithmiquement, on obtient une courbe de tassement dans laquelle le domaine de la compaction initiale aura - d'après l'expérience - la forme d'une droite. Le domaine de la recompaction étant, quant à lui, caractérisé par une courbe raccordée à cette droite. La transition n'étant pas tranchée, mais progressive, il n'est pas simple de « lire » la précompaction sur la courbe. Une approximation pratique de la précompaction a été proposée par Casagrande, ce procédé est décrit dans LANG, H.-J. & HUDER, J. 1990, p. 53 *. Il peut être résumé comme suit:

1. Reporter la contrainte exercée (échelle logarithmique) en fonction du tassement relatif de l'échantillon.
2. Ajuster la courbe dans le domaine de la recompaction et la droite dans le domaine de la compaction initiale. S'il n'est pas possible d'ajuster la droite, il faut en conclure que, selon toute vraisemblance, la contrainte exercée n'a pas dépassé, ou de très peu, le niveau de la précompaction.
3. Le point d'inflexion de la courbe (point K sur la fig.) est déterminé visuellement.
4. La tangente à la courbe au point K est tirée.
5. L'horizontale (par rapport à l'axe des contraintes) à la courbe au point K est tirée.
6. Tracer la médiane de l'angle formé par la tangente et l'horizontale tirées au point K, et déterminer le point d'intersection de cette médiane avec la courbe de recompaction (selon son ajustement). La projection du point d'intersection sur l'axe des contraintes exercées donne le niveau de précompaction actuel.

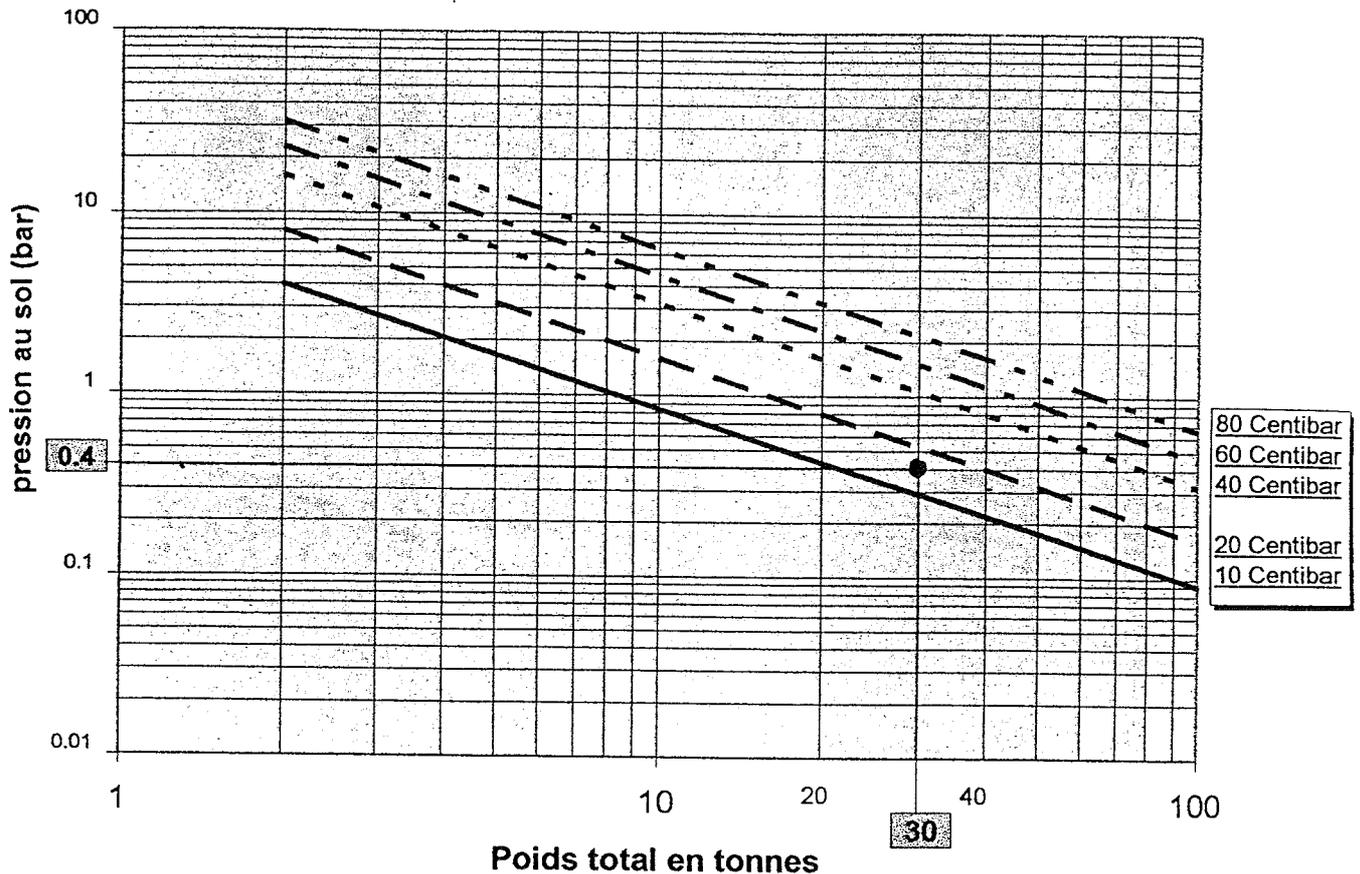
*) LANG, H.-J. & HUDER, J. 1990. Bodenmechanik und Grundbau, 4. Auflage. Springer Verlag - Berlin und Heidelberg, 259 pages.



Remarques importantes concernant le test:

- L'échantillon de sol doit être non remanié. Il faut, dans la mesure du possible, utiliser des échantillons de grande dimension. Les échantillons prélevés à l'aide des cylindres de Burger (cylindres d'un litre de contenance) sont particulièrement adaptés. Les parois desdits cylindres sont suffisamment rigides pour qu'ils puissent être utilisés directement pour le test de la courbe de tassement, de telle sorte qu'on évite ainsi d'endommager l'échantillon en le transférant dans un autre cylindre.
- Les échantillons, destinés à déterminer la précompaction en vue d'appliquer l'arbre décisionnel de l'annexe 3, seront prélevés uniformément à la profondeur de 32,5 cm (par rapport au milieu de la hauteur du cylindre de prélèvement).
- Pour établir la courbe de tassement, il est recommandé d'exercer au minimum des contraintes de 4 kPa, 12,5 kPa, 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 400 kPa, et 800 kPa. Pour être assurée, une précompaction devra être encadrée, au minimum, par deux niveaux de mesure (2 mesures au-dessous et au-dessus du niveau de précompaction). Si dans la plage des contraintes recommandées, on ne peut pas observer le passage de la courbe de recompaction à la droite de compaction initiale, cela peut indiquer, soit que la précompaction est inférieure au premier niveau de contrainte (p. ex. pour des sols extrêmement meubles), soit que le niveau de précompaction n'a pas été atteint ou dépassé (p. ex. pour des sols très compacts).
- Même dans le cas où les sols paraissent être très homogènes, la précompaction peut varier très fortement sur une faible distance. Il est donc recommandé d'établir la médiane d'au moins trois échantillons par emplacement mesuré.

Annexe 6 Nomogramme: limites d'utilisation de machines de chantier



Exemple: Poids total	30 tonnes
Pression au sol	0.4 bar
Limite d'utilisation	15 Centibar

Calcul de la limite d'utilisation:

Limite (Centibar) = poids total (tonnes) x pression au sol (bar) x 1.25

Remarques:

1. La détermination de la limite d'utilisation des machines de chantier s'effectue, au cas par cas, selon le chiffre 6.4.2 en tenant compte des indications spécifiques figurant sur la section considérée dans la carte des sols et du schéma décisionnel "détermination de la sensibilité à la compaction du sous-sol" (annexe 3)
2. Une tolérance de +/- 10% de la valeur médiane des forces de succion mesurées sur la placette est prise en compte.
3. Les véhicules à pneus jusqu'à 3,5 tonnes de poids total et les véhicules équipés de Terrapneus jusqu'au poids total de 5,0 tonnes sont admis sur la piste de chantier.
4. Les machines qui nécessitent une force de succion supérieure à 90 centibars ne peuvent pas être utilisées sans des mesures particulières.

Annexe 7 Le tensiomètre

Sol - eau - espace poral

Un sol est constitué d'éléments solides (minéraux, matières organiques) et d'interstices. En simplifiant, on peut estimer que ces deux composants se partagent le volume total à égalité. Ces interstices forment un système de pores stables, reliés entre eux, servant à l'aération du sol et à son irrigation. C'est par là que l'eau des précipitations s'infiltrer. A saturation, elle est soumise presque exclusivement à la force de gravité; le drainage utilise cette force. Lorsque, progressivement, les pores sont moins saturés, la tension superficielle résultant des effets de ménisque croît, l'effet de capillarité (énergie, p. ex. joules) domine. Rapportée au volume, cette force devient une pression (p. ex. Pa ou N/m^2).

Force de succion

La pression calculée sur la base de l'énergie de l'eau du sol est définie comme la pression capillaire (valeur négative) ou, plus généralement, comme la force de succion S .

Les forces de succion stabilisent la structure du sol en augmentant la cohésion des agrégats et elles contribuent ainsi, indirectement, à la résistance mécanique du sol.

Description d'un tensiomètre

L'instrument utilisé pour mesurer la force de succion est appelé tensiomètre. Il est constitué d'une coupelle poreuse (bougie) en céramique, mise en contact avec l'eau du sol et reliée à un manomètre. La force de succion se lit en bar = $10^5 N/m^2 = 10^5$ Pascal = 10^3 hPascal = 1,032 atm = 1032 cm de colonne d'eau).

Le tensiomètre courant est constitué d'un tube de matière synthétique ($\varnothing 7/8''$), d'une bougie poreuse et d'un manomètre. Sa longueur varie en fonction de la profondeur de mesure.

Mise en place

Pour déterminer la portance du sol, on intervient à 35 cm de profondeur; on utilise alors des tensiomètres courts (60 à 90 cm). Le tensiomètre est installé à l'aide d'une tarière d'un diamètre légèrement supérieur à celui du tube. Avant d'introduire l'appareil, on appliquera sur la bougie une couche de terre fine humidifiée pour assurer un contact parfait avec le sol.

Il est très important que le tube soit bien pris dans le sol pour éviter des écoulements préférentiels. A la surface du sol, on tassera la terre autour du tube, ou on posera une manchette en caoutchouc.

Entretien

Une fois l'appareil mis en place, l'eau de la bougie poreuse, initialement à la pression atmosphérique, se trouve en contact avec l'eau du sol qui est sous tension. A partir d'une certaine charge de pression, les pores de la bougie peuvent se désaturer et permettre ainsi à l'air de s'introduire dans l'appareil, ce qui a pour effet de rompre la conductivité hydraulique et d'interrompre la mesure.

Si on a des doutes sur le fonctionnement d'un manomètre, il est préférable de le changer ou du moins de le vérifier en le plongeant dans un récipient rempli d'eau à la profondeur de mesure. Après un instant de réaction, il doit s'équilibrer à zéro. On peut également étalonner le manomètre de cette façon.

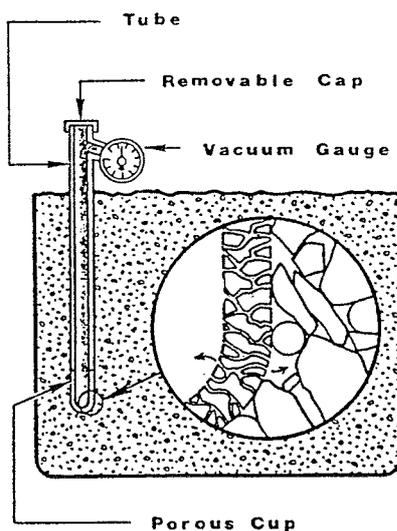
Interprétation des mesures

Le sol est un milieu inhomogène, toutefois, en tenant compte de certaines limites et en admettant une certaine imprécision, on peut estimer qu'un type de sol situé dans une zone définie représente un milieu plus ou moins homogène. Mais une seule mesure est insuffisante pour caractériser la force de succion d'un sol. L'expérience a montré qu'il fallait de 3 à 5 mesures par placette de 2 m².

Pour fixer la valeur de référence, il faut éviter d'utiliser la moyenne des mesures, qui suppose une répartition normale, ce qui est rarement le cas, . Il faut utiliser la médiane, celle-ci sera considérée comme valable dans une plage de + ou - 10% pour les présentes directives.

Précaution

Les tensiomètres sont sensibles au gel. Pour les utiliser en période de risque de gel, il faudra protéger la partie hors sol par un manchon isolant.



Annexe 8 Exemple de cahier des charges pour spécialiste de la protection des sols

Le spécialiste de la protection des sols doit veiller:

- au respect des directives pour la protection des sols;
- à l'exécution et à l'interprétation des mesures de la force de succion;
- à l'information régulière des responsables cantonaux chargés de la protection des sols.

Le spécialiste de la protection des sols conseille:

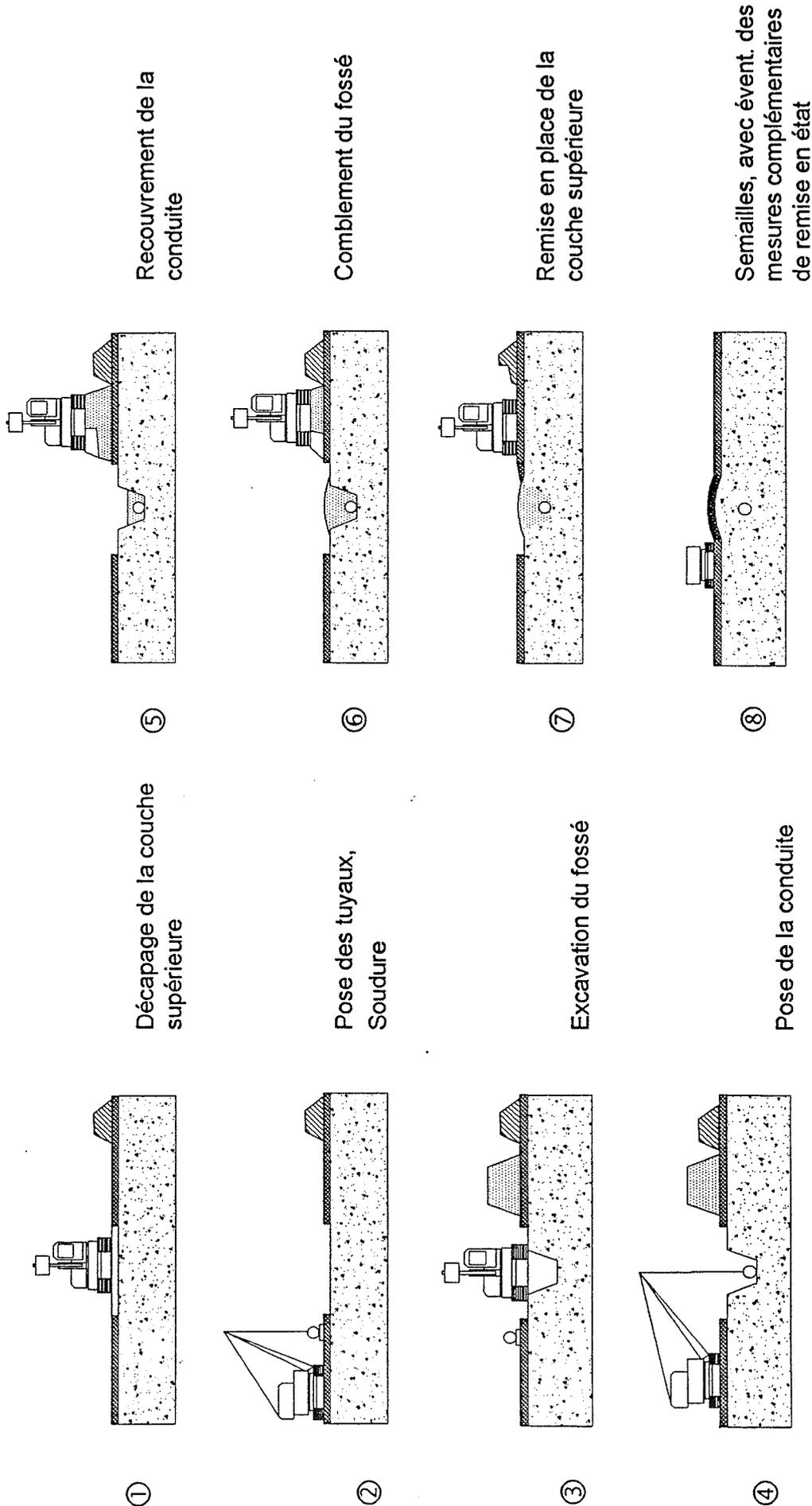
- la direction des travaux;
- les exploitants, les propriétaires des parcelles concernées par le chantier, les responsables des indemnisations et de la restitution des parcelles.

Le spécialiste de la protection des sols participe:

- aux réunions de chantiers;
- à la restitution des parcelles à l'issue des travaux et de la remise en culture.

Annexe 9 Chantier en ligne - exemples

Construction de conduites dans des terres arables
Déroutement des travaux: Décapage sur la largeur du fossé
 Exemple pour des sols profonds à moyennement profonds



Décapage de la couche supérieure

Pose des tuyaux, Soudure

Excavation du fossé

Pose de la conduite

Couche supérieure

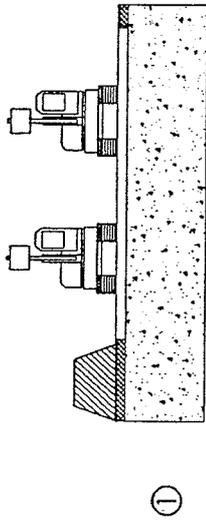
 Sous-sol

 Sous-sol excavé

 Dépôt de la couche supérieure

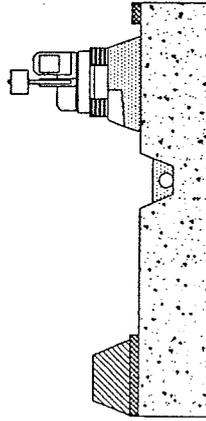
Annexe 9 Chantier en ligne - exemples (suite)

Construction de conduites dans des terres arables Déroutement des travaux: Décapage sur toute la largeur de la piste de chantier Exemple pour sols ayant une couche supérieure peu épaisse et un sous-sol fortement pierreux (sol porteur)



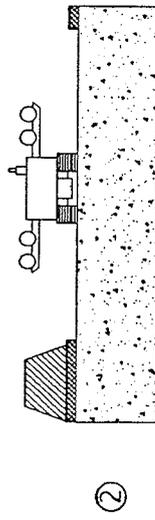
①

Décapage de la couche supérieure



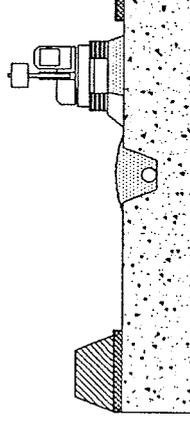
⑤

Recouvrement de la conduite



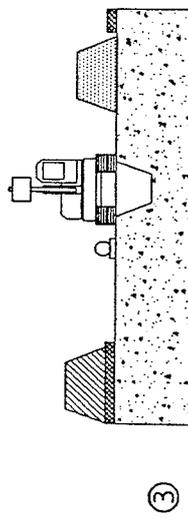
②

Pose des tuyaux, Soudure



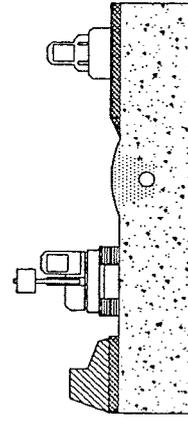
⑥

Comblement du fossé



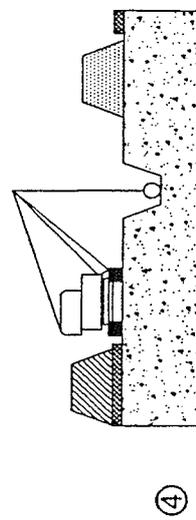
③

Excavation du fossé



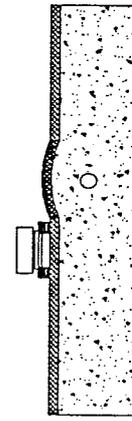
⑦

Remise en place de la couche supérieure



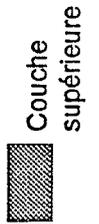
④

Pose de la conduite



⑧

Semelles, avec évent. des mesures complémentaires de remise en état



Dépôt de la couche supérieure



Sous-sol



Sous-sol excavé