

GUIDE POUR L'ÉTUDE ET LA CONSTRUCTION DE REMBLAIS ROUTIERS SUR TOURBIÈRES



**Direction du laboratoire des chaussées
Service de la géotechnique et de la géologie
Septembre 2012**

Le contenu de la présente publication a été élaboré par le ministère des Transports

Réalisation :

**Gilles Grondin, ing., M. Sc. A.
Denis Lessard, ing., M. Sc.
Maude Boucher, ing., M. Sc.
Michel Poulin, tech.**

**Direction du laboratoire des chaussées
Service de la géotechnique et de la géologie
930, chemin Sainte-Foy, 5^e étage
Québec (Québec) G1S 4X9**

Septembre 2012

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
2. DESCRIPTION GÉNÉRALE	1
2.1 Caractéristiques principales des sols organiques	2
2.2 Sensibilité aux perturbations anthropiques	3
3. ÉTUDE PRÉLIMINAIRE	4
4. ÉTUDE DE CARACTÉRISATION D'UNE TOURBIÈRE	5
4.1 Reconnaissance visuelle	5
4.2 Outillage	5
4.2.1 Tarière manuelle	5
4.2.2 Échantillonneur à piston manuel	6
4.2.3 Scissomètre portatif	6
4.2.4 Échantillonneur à piston stationnaire ou tubes à paroi mince	6
4.3 Fréquence des sondages	7
4.3.1 Détermination de l'épaisseur du dépôt organique	7
4.3.2 Détermination de la résistance au cisaillement	7
4.4 Classification des sols organiques	9
4.5 Essais en laboratoire	9
5. ÉTUDE THÉORIQUE	11
5.1 Mécanisme de la consolidation des sols organiques (selon J. Vautrain)	11
5.2 Calcul des tassements	12
5.3 Épaisseur de la surcharge (si requise)	13
5.4 Analyse de la stabilité	15
5.5 Emplacement de l'instrumentation	16
6. MÉTHODES DE CONSTRUCTION	17
6.1 Choix de la méthode	17
6.1.1 Profil final de la chaussée	17
6.1.2 Outil décisionnel pour sols organiques d'épaisseur constante	17
6.2 Remblai traditionnel	18
6.3 Excavation	18
6.3.1 Excavation partielle des sols organiques	20

6.3.2	Élargissement d'un remblai existant	20
6.4	Consolidation sans surcharge	20
6.4.1	Couche additionnelle de 150 mm	21
6.5	Consolidation par surcharge	22
6.5.1	Couche initiale	23
6.5.2	Couches subséquentes	23
6.5.3	Surcharge	24
6.5.4	Période d'attente finale	24
6.5.5	Fin de la consolidation	24
6.6	Déplacement par gravité	25
6.6.1	Remblai et surcharge de progression	25
6.6.2	Excavation de la croûte fibreuse	26
6.6.3	Tranchées longitudinales	26
6.6.4	Suivi et surcharge temporaire	26
7.	CONSTRUCTION SUR SOLS ORGANIQUES	27
7.1	Déboisement	27
7.2	Obstacles existants	27
7.3	Drainage	28
7.3.1	Ponceaux	28
7.3.2	Fossés latéraux	29
7.4	Utilisation de géogrilles	29
7.5	Pente d'excavation dans les sols organiques	30
7.6	Installation des instruments de contrôle	30
7.7	Travaux de remblayage	31
7.7.1	Limites de pression au sol et de masse	31
7.7.2	Transport des matériaux	32
7.7.3	Compactage du remblai	32
7.7.4	Stabilité du remblai et amorce de rupture	33
7.8	Construction hivernale	33
8.	INSTRUMENTATION ET SUIVI EN COURS DE CONSTRUCTION	34
8.1	Indicateur de couche	35

8.1.1	Installation	35
8.2	Indicateur de tassement	35
8.2.1	Installation	35
8.2.2	Lectures	37
8.2.3	Cote de sécurité	37
8.3	Piézomètre	37
8.3.1	Installation	38
8.3.2	Lectures	38
8.3.3	Cote de sécurité	39
8.4	Indicateur de déplacement latéral	40
8.4.1	Installation	40
8.4.2	Lectures	40
8.4.3	Cote de sécurité	41
8.5	Arrêt des travaux	41
9.	POSTCONSTRUCTION	41
9.1	Tassements observés sur la chaussée	41
9.2	Mauvaise réalisation des travaux	42
9.3	Correction de la chaussée	42
9.4	Modification du remblai	42
10.	CONCLUSION	43

LISTE DES FIGURES

- Figure 1. Étude de caractérisation d'une tourbière.
- Figure 2. Courbe de tassement en fonction de l'épaisseur des sols organiques.
- Figure 3. Choix de la méthode de construction d'une route traversant une tourbière en fonction de l'épaisseur du remblai routier et des sols organiques sous-jacents.
- Figure 4. Graphique pour contrôle de construction sur sol organique, 0 à 100 jours.
- Figure 5. Graphique pour contrôle de construction sur sol organique, indicateur de déplacement latéral.

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1. Classification des sols organiques en fonction de la résistance au cisaillement non drainée (kPa).
- Tableau 2. Classification des sols organiques, échelle Von Post.
- Tableau 3. Renseignements généraux sur le programme d'instrumentation pour la construction sur sol organique.
- Tableau 4. Tableau des lectures pour contrôle de construction sur sol organique, plaque de tassement et piézomètre.
- Tableau 5. Tableau des lectures pour contrôle de construction sur sol organique, indicateur de déplacement latéral.

LISTE DES DESSINS NORMALISÉS
Collection Normes – Ouvrages routier
[Tome II, chapitre 1](#)

- Numéro 007. Déblai de sol organique.
- Numéro 008. Déplacement par gravité du sol organique, profil longitudinal.
- Numéro 009. Déplacement par gravité du sol organique, vue en plan.
- Numéro 010. Déplacement par gravité du sol organique, coupes transversales.
- Numéro 011. Consolidation par surcharge sur sol organique, profil longitudinal.
- Numéro 012. Consolidation par surcharge sur sol organique, vue en plan
- Numéro 013. Consolidation par surcharge sur sol organique, coupes transversales.
- Numéro 014. Consolidation sans surcharge sur sol organique, coupes transversales.
- Numéro 015. Instrumentation sur sol organique.

1. INTRODUCTION

Les grandes plaines argileuses et les dépressions dans les régions montagneuses du Québec ainsi que les zones côtières de la Côte-Nord et de la Baie-James comportent beaucoup de dépôts organiques. Le corridor le plus avantageux pour la construction d'un nouvel axe routier ou pour l'amélioration d'une route existante doit souvent franchir des zones où la couche de surface est constituée de sols organiques. Lors de la création du réseau routier, lorsque le tracé envisagé traversait une formation organique profonde et de longueur appréciable, le tracé de la route était généralement modifié de façon à contourner cet obstacle, surtout s'il s'agissait d'un axe routier important à circulation lourde et intense. Dans certains cas d'exception, des troncs d'arbre étaient mis en place sur la tourbière pour améliorer la capacité portante du sol sous le remblai routier.

Depuis le début des années 1960, diverses méthodes de construction ont été mises au point, permettant de franchir de façon relativement économique, aisée et également très satisfaisante ces zones de sols mous et compressibles. Aujourd'hui, les nombreuses constructions réalisées sur ce type de dépôt ont permis de vérifier l'efficacité de ces méthodes de construction et aussi de parfaire nos connaissances sur le comportement de ce type de sol lorsqu'il est soumis aux contraintes imposées par la construction d'un remblai routier.

Le présent guide décrit les différentes étapes à suivre lors de l'étude de ces formations organiques et les diverses méthodes de construction préconisées par le ministère des Transports du Québec pour la construction de remblais routiers sur ce type de sol. Le chapitre sur les méthodes de construction est un complément à la section « Traitement des sols organiques et des sols de faible portance » du [chapitre 11 du Cahier des charges et devis généraux](#).

Le lecteur doit garder à l'esprit que le présent document énonce certaines lignes directrices pour la construction sur des tourbières. L'ingénieur doit garder un esprit critique et user de son bon jugement relativement à l'applicabilité des concepts qui y sont mentionnés.

2. DESCRIPTION GÉNÉRALE

On peut définir une formation organique comme étant un dépôt s'étant formé au fil des siècles par l'accumulation et la décomposition, dans un milieu mal drainé, de débris de végétation muscinale, herbacée, arbustive ou arborescente. Dans le présent guide, le terme « tourbière » est utilisé pour parler de cette formation organique. Le terme « sol organique » est quant à lui utilisé pour parler des matériaux composant la tourbière.

Les sols organiques qui composent les tourbières sont d'abord constitués d'une croûte organique vivante composée de mousses, d'herbes et de lichens, sur laquelle poussent

souvent des arbres et des arbustes dont les racines entrelacées lui donnent une résistance parfois importante.

Sous cette croûte fibreuse dont l'épaisseur varie généralement de 600 à 900 mm, il y a normalement un mélange de matières organiques partiellement décomposées appelé communément terre noire ou tourbe. Cette couche de sol organique sous-jacente est habituellement de faible consistance, très compressible et possède une teneur en eau très élevée comparativement à un sol minéral.

Construire un remblai routier sur un tel terrain présente certaines contraintes directement liées à la faible capacité de support d'un tel sol ainsi qu'à sa très grande compressibilité. Ces difficultés se présentent sous la forme de tassements différentiels importants et d'un déplacement de la croûte fibreuse qui crée un gonflement latéral ou frontal indiquant une amorce de rupture du remblai en cours de construction.

Dans le but d'éviter de telles difficultés, la construction d'un remblai au-dessus de ces dépôts organiques exige donc une étude approfondie visant à déterminer les propriétés physiques et mécaniques des sols en place, afin de choisir la méthode de construction la mieux appropriée à chacune des formations rencontrées. Une bonne surveillance de la construction lors de la pose de la première couche est un élément primordial pour la qualité de l'ouvrage.

2.1 Caractéristiques principales des sols organiques

Les sols organiques se caractérisent principalement par une teneur en eau très élevée, par une compressibilité également très élevée, par une résistance au cisaillement généralement faible et par une perméabilité très variable. Les principales caractéristiques des sols organiques rencontrés dans les tourbières sont :

- teneur en eau naturelle très élevée (w) → 750 à 1500 %
- contenu en matières organiques → 95 % du poids sec
- résistance au cisaillement non drainée (C_u) → 5 à 20 kPa
- poids volumique (γ) → 9,5 à 11,00 kN/m³
- degré d'acidité (pH) → 4 à 6
- indice de vides (e) V_v/V_s → 5 à 15
- perméabilité (k) → 1×10^{-6} à 1×10^{-3} cm/sec

Les sols organiques fibreux ont généralement une teneur en eau plus élevée que les sols organiques plus décomposés. De plus, la perméabilité des sols organiques décroît considérablement avec la contrainte effective appliquée. Quoiqu'il n'existe pas à notre connaissance de caractérisation des sols organiques en fonction de leur résistance au cisaillement non drainée, les valeurs présentées au tableau 1 sont suggérées pour leur degré de consistance.

Tableau 1. Classification des sols organiques en fonction de la résistance au cisaillement non drainée (kPa).

Consistance	Résistance au cisaillement non drainée (kPa)
Très molle	< 8
Molle ou peu élevée	8 à 12
Ferme ou moyennement élevée	12 à 20
Élevée	> 20

L'expérience acquise dans ce type de matériaux a permis d'établir que les valeurs de résistance données au tableau 1 sont représentatives pour des sols organiques assez décomposés (H5 à H10 sur l'échelle Von Post présentée à la [section 4.4](#)). Pour des sols organiques peu décomposés (H1 à H4), les valeurs de résistance sont beaucoup moins valables.

2.2 Sensibilité aux perturbations anthropiques

En raison de leur faible résistance et de leur forte compressibilité, les sols organiques sont très sensibles aux perturbations anthropiques. Une perturbation importante des sols organiques sous l'emprise de la route peut entraîner des comportements différentiels considérables ou des mesures correctives coûteuses. De plus, une perturbation trop importante peut rendre très compliquée, voire impossible, l'application d'une méthode de construction qui aurait été la plus appropriée.

Il est donc impératif d'éviter toute activité susceptible de perturber les sols organiques, à moins que cette perturbation n'ait aucun effet direct sur le projet. Le terme « perturbation » désigne toute modification aux conditions initiales de la tourbière, notamment :

- le remaniement des sols organiques;
- l'orniérage et la consolidation partielle;
- les puits d'exploration et les tranchées;
- le drainage et les modifications aux conditions d'écoulement.

Les principales activités susceptibles de perturber de façon importante les sols organiques sont la circulation de la machinerie lourde et les travaux d'excavation. L'utilisation et la circulation de la machinerie lourde sur les sols organiques doivent donc être limitées et contrôlées lors des différentes étapes d'un projet routier, soit principalement lors :

- des travaux de déboisement préliminaire;
- de l'étude de reconnaissance des sols préliminaire;

- des travaux de caractérisation de la tourbière;
- des travaux de déboisement avant construction;
- des travaux de construction.

Dans tous les cas, la circulation de la machinerie lourde peut s'effectuer uniquement si les propriétés mécaniques des sols organiques le permettent, soit si la résistance de la croûte fibreuse de surface est suffisante. Lors des études préliminaires, cette information n'est généralement pas connue; c'est pourquoi il est préférable de repérer d'abord les tourbières potentielles à l'aide de photographies aériennes ou par une reconnaissance visuelle sur place. Par la suite, des équipements légers devraient être utilisés pour les travaux dans les zones repérées pour connaître les propriétés mécaniques du dépôt organique.

La circulation de la machinerie lourde peut également être envisagée si des dispositions particulières sont prises pour éviter le remaniement des sols organiques. Par exemple, il peut s'avérer possible de construire un chemin hivernal temporaire. Plusieurs méthodes de construction d'un chemin hivernal sont traitées dans le guide *Guidelines for the Construction and Operation of Winter Roads* (2011) publié par l'Association des transports du Canada (ATC). Certaines considérations pertinentes pour les tourbières sont d'ailleurs énoncées à la section 5.2.1.3 de ce guide.

Dans tous les cas, les dispositions particulières sont laissées au choix et au bon usage de l'entrepreneur ou de l'ingénieur.

3. ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

Pour la plupart des projets routiers, une première reconnaissance des sols peut être effectuée à partir de photographies aériennes. Cette étude préliminaire permet de déterminer la présence et l'étendue approximative de zones de sols organiques situées à l'intérieur de l'emprise de la future route et de noter si la tourbière a été perturbée par l'activité humaine. À ce stade de l'étude, seulement quelques indications sommaires sur l'étendue de ces zones, sur le type de tourbière rencontrée, sur l'épaisseur approximative de la couche organique ainsi que sur la topographie générale du terrain sont recueillies.

À la suite de cette première estimation, une reconnaissance des sols est généralement réalisée, ce qui permet de préciser l'étendue exacte des formations organiques, leur épaisseur approximative ainsi que la nature et la capacité portante de la couche minérale sous-jacente. Les renseignements obtenus lors de cette étude permettent également de déterminer si une expertise plus détaillée de ces zones marécageuses doit être réalisée.

4. ÉTUDE DE CARACTÉRISATION D'UNE TOURBIÈRE

Si une étude plus approfondie est justifiée, le type ainsi que la fréquence des sondages et des essais requis pour avoir une connaissance appropriée de chacun des secteurs concernés doivent être bien planifiés. Des sondages et des essais additionnels seront effectués en fonction de l'étendue de la formation organique, de son épaisseur plus ou moins variable, de son homogénéité plus ou moins grande ainsi que de la nature et de la capacité portante de l'horizon sous-jacent.

Encore une fois, il est très important de ne pas perturber les sols organiques lors de l'étude de caractérisation de la tourbière.

4.1 Reconnaissance visuelle

Lors de la visite du site, le responsable des sondages devra relever les fossés présents en notant leur profondeur, le mode d'excavation utilisé, si possible, et l'endroit où les sols organiques excavés ont été disposés. De plus, la présence de mares devra être notée ainsi que les variations dans la végétation de la couche fibreuse telles les zones de plantes herbacées. Ces dernières indiquent soit une couche fibreuse très mince recouvrant des sols organiques très mous, soit une couche flottante.

4.2 Outillage

Vu l'accessibilité très limitée et la fragilité des dépôts organiques, il est préférable que l'outillage utilisé pour la réalisation de telles études soit léger, facilement transportable et opérable manuellement. Les principaux appareils de sondage utilisés sont une tarière manuelle, un échantillonneur à piston manuel (*hand piston sampler*) et un scissomètre portatif. Dans le cas de la reconstruction d'une route existante, une foreuse hydraulique qui permet de déterminer l'épaisseur du remblai existant ainsi que la méthode de chargement utilisée lors de la construction de ce remblai peut également être utilisée.

4.2.1 Tarière manuelle

La tarière manuelle sert à déterminer l'épaisseur exacte de la couche organique, la nature de la couche sous-jacente et permet également de vérifier s'il existe une pente sous le dépôt organique qui pourrait dans certains cas favoriser une instabilité du remblai à construire ou à modifier.

4.2.2 Échantillonneur à piston manuel

Le deuxième appareil utilisé est un échantillonneur à piston dont le diamètre intérieur du tube servant à prélever les échantillons est d'environ 45 mm. Cet échantillonneur permet de prélever des échantillons remaniés qui ne peuvent être utilisés que pour déterminer la structure fibreuse des sols organiques et leur degré de décomposition en fonction de la profondeur à laquelle l'échantillon a été prélevé. La classification des sols organiques peut ensuite être faite selon l'échelle Von Post présentée à la [section 4.4](#). Cet échantillonneur permet également, dans les cas où l'horizon sous-jacent à la couche organique est une argile de consistance similaire, de déterminer précisément le niveau correspondant au contact de ces couches.

4.2.3 Scissomètre portatif

Pour compléter l'étude de caractérisation, l'évaluation de la résistance au cisaillement des sols organiques doit être faite. Dans le cas d'une tourbière, la résistance est fonction de la densité de fibres par unité de volume et du degré de décomposition du sol organique. L'appareil couramment utilisé pour réaliser cet essai est un scissomètre portatif qui se compose essentiellement d'un train de tiges, dont le diamètre est d'environ 16 mm, auquel est fixé, à l'une des extrémités, un croisillon formé de palettes, dont les dimensions sont de 65 mm sur 130 mm, assemblées à angle droit. Les lectures sont relevées à l'aide d'un torquemètre (clé dynamométrique) dont la graduation va de 0 à 50 lb-pi (0-70 N.m). Le modèle DN-502 fabriqué par la compagnie Herbran et le modèle TWD fabriqué par MAC se sont révélés tout à fait appropriés pour ce type d'essai. Pour transformer les lectures en kilopascals, le coefficient a été calculé à 1,33 fois la valeur obtenue en livres-pieds, pourvu que les palettes précédemment mentionnées soient utilisées.

4.2.4 Échantillonneur à piston stationnaire ou tubes à paroi mince

Des échantillons non remaniés peuvent être prélevés en présence de sols organiques décomposés où il y a peu de fibres végétales et de racines. Toutefois, l'utilisation d'un échantillonneur à piston stationnaire est possible seulement lorsque le site des travaux d'investigation est accessible avec une foreuse hydraulique, par exemple sur les routes ou les structures existantes et sur les tourbières qui ont une croûte très résistante. La foreuse ne doit en aucun cas perturber la surface des sols organiques et donc ne peut circuler directement sur la surface de la majorité des tourbières, à moins de dispositions particulières ([section 2.2](#)).

Les échantillons récupérés peuvent ensuite être transportés avec précaution et analysés en laboratoire pour obtenir l'information nécessaire pour le calcul des tassements ou pour une analyse de stabilité.

4.3 Fréquence des sondages

Il est très important que la fréquence des sondages et des essais réalisés sur place permette une connaissance appropriée de la tourbière étudiée.

Dans le but de déterminer la fréquence des sondages, certains facteurs particuliers tels que l'étendue de la formation organique, son épaisseur plus ou moins variable, la nature et la capacité portante de l'horizon sous-jacent ainsi que le relief du terrain avoisinant doivent être considérés. La figure 1 montre la procédure à suivre lorsque des sols organiques ont été repérés à l'étape de la reconnaissance des sols au droit d'un tracé projeté.

4.3.1 Détermination de l'épaisseur du dépôt organique

L'épaisseur de la couche organique est déterminée le long de la ligne de centre et à une distance de 10 m à gauche et à droite de celle-ci, selon un espacement longitudinal moyen de 40 m. En plus de l'épaisseur des sols organiques, le niveau de la nappe phréatique est mesuré par rapport à la surface du terrain naturel et la nature de la couche sous-jacente est établie dans tous les sondages.

S'il y a, entre deux sondages, une différence appréciable de l'épaisseur de la couche organique, soit plus de 1 m, des sondages supplémentaires sont réalisés. Pour une variation transversale par rapport à la route, les sondages supplémentaires sont effectués à une distance de 20 m de part et d'autre de la ligne de centre, tandis que pour une variation longitudinale, l'espacement est réduit à 20 m ou même à 10 m.

Lorsque des fossés existants sont notés, des sondages sont ajoutés dans ceux-ci et à proximité afin de vérifier l'épaisseur des sols organiques excavés et résiduels.

4.3.2 Détermination de la résistance au cisaillement

Malgré la présence de fibres pouvant influencer la résistance au cisaillement non drainée des sols organiques moins décomposés, l'expérience acquise au ministère des Transports du Québec permet d'affirmer que l'essai au scissomètre portatif est assez représentatif et qu'il permet de faire des études de stabilité valables, du moins pour les sols organiques classifiés H5 à H10 selon l'échelle Von Post.

Lorsque l'épaisseur de la couche organique est supérieure à 1,5 m, des mesures de résistance au cisaillement sont faites tous les 0,5 m de profondeur, à partir de la surface du terrain naturel jusqu'au niveau de la couche sous-jacente.

Au moins un profil scissométrique doit être effectué pour chaque série transversale de sondages (espacée de 20 ou de 40 m, selon le cas). Si la résistance au cisaillement est variable d'une série de sondages à l'autre, l'espacement doit être de 20 m.

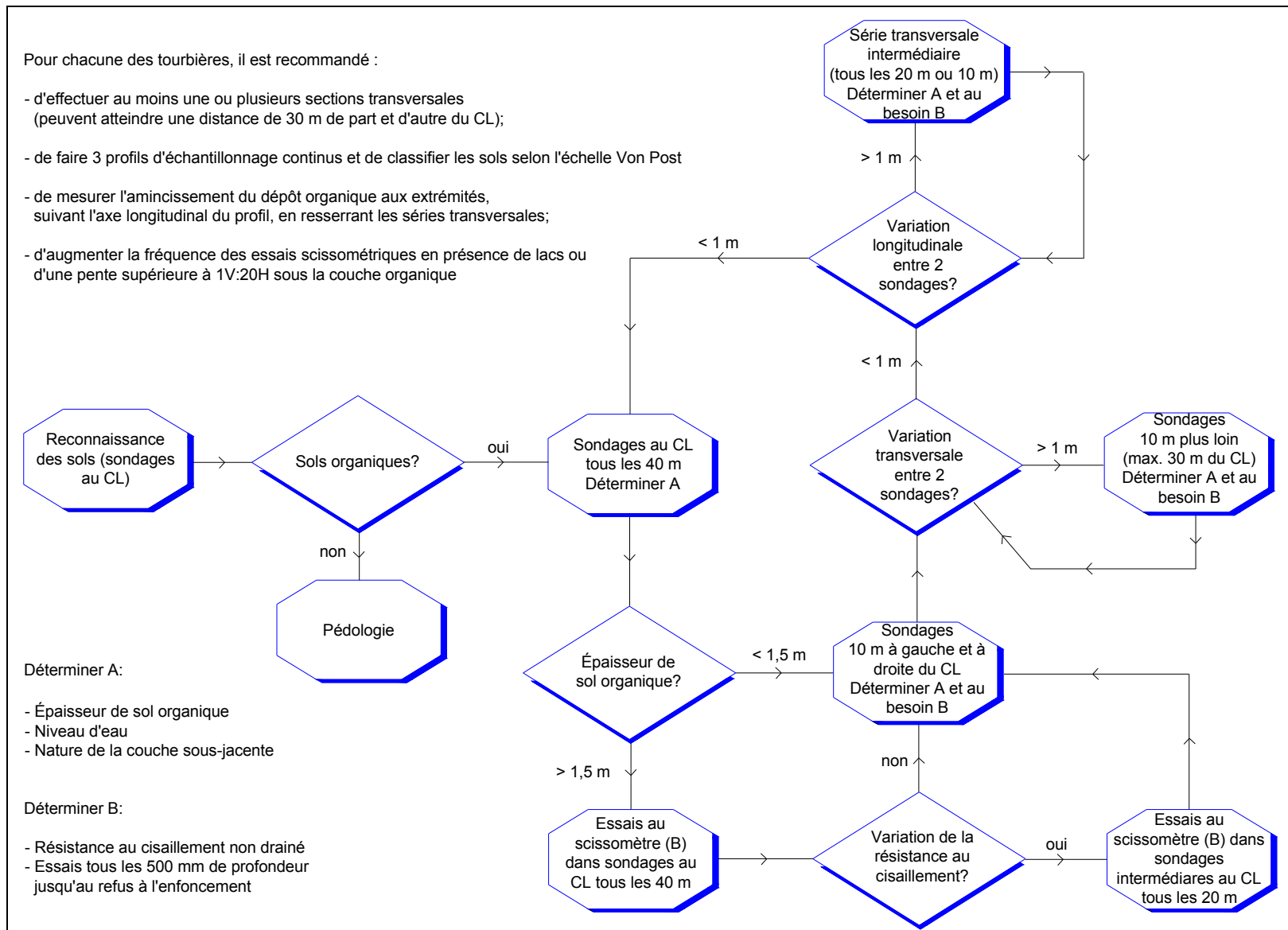


Figure 1. Étude de caractérisation d'une tourbière.

En présence de lacs ou d'une pente supérieure à 1V:20H sous la couche organique, la fréquence des essais scissométriques doit être augmentée. Pour chaque série transversale de sondages, au moins deux profils scissométriques sont alors réalisés, soit un de chaque côté au pied du remblai projeté. De plus, au moins un profil supplémentaire est effectué à l'extérieur de l'emprise du remblai lorsqu'il y a un lac, car il y a souvent une diminution de la résistance à l'approche d'un lac.

Pour chacun de ces sondages, la nature de l'horizon sous-jacent est déterminée et advenant la présence d'argile molle, les essais scissométriques se poursuivront jusqu'à ce que le refus soit atteint ou jusqu'à ce que la résistance au cisaillement de l'argile soit jugée suffisante pour supporter le remblai proposé.

4.4 Classification des sols organiques

À l'aide de l'échantillonneur manuel (*hand piston sampler*), au moins trois profils d'échantillonnage continus permettant de classer les sols organiques selon l'échelle Von Post seront réalisés. Cette classification est basée principalement sur leur degré de décomposition. Elle permet, à la suite d'un examen visuel de l'échantillon prélevé, mais principalement à la suite d'un essai de pressage dans la main, de classer les sols organiques selon une échelle graduée de H1 à H10. Cette classification est montrée au tableau 2.

4.5 Essais en laboratoire

Au cours des années 1960-1970, période durant laquelle les méthodes de construction sur tourbières ont été élaborées, le ministère des Transports du Québec a procédé à de nombreux essais en laboratoire visant à déterminer les principales caractéristiques des sols organiques. Cependant, en raison de la présence de fibres végétales de plus ou moins grandes dimensions, il était excessivement difficile de prélever des échantillons intacts et représentatifs de l'ensemble du dépôt organique et, par la suite, d'établir une corrélation étroite entre les résultats de ces essais et le comportement des sols organiques observé en chantier. Ces écarts peuvent être principalement attribuables à l'hétérogénéité, tant horizontale que verticale, de ce type de formation.

Par conséquent, pour arriver à prévoir correctement le comportement des sols organiques, il serait nécessaire de procéder à un échantillonnage continu, d'analyser une très grande quantité d'échantillons non remaniés représentatifs du dépôt et de prendre toutes les précautions pour les conserver intacts pendant leur transport et leur manipulation. De plus, il est pratiquement impossible de reconstituer en laboratoire tous les éléments pouvant influencer le comportement des sols organiques lorsqu'ils sont soumis à certaines charges.

Tableau 2. Classification des sols organiques, échelle Von Post.

DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLON				ESSAI DE PRESSAGE DANS LA MAIN		
CLASSE	DEGRÉ DE DÉCOMPOSITION	PRÉSENCE DE TERRE	STRUCTURE FIBREUSE	EAU DE REJET	PASSANT À TRAVERS LES DOIGTS	RÉSIDU DANS LA MAIN
H1	Complètement non décomposé	Aucune	Très évidente	Claire et incolore	Rien	Non pâteux
H2	Pratiquement non décomposé	Pratiquement aucune		Colorée, mais non boueuse		
H3	Peu décomposé	Très peu		Boueuse		Un peu pâteux
H4	Mal décomposé	Quelque peu		Boueuse		
H5	Assez décomposé	Plutôt terreux	Très évidente, mais un peu altérée	Très boueuse	Un peu	Très pâteux
H6	Assez décomposé	Plutôt terreux	Évidente, mais moins facile à discerner	Consistance d'une purée et plus ou moins mêlée à la substance entre les doigts	1/3 de l'échantillon	Très pâteux; structure fibreuse plus évidente qu'avant le pressage
H7	Assez bien décomposé	Terreux	Encore visible		1/2 de l'échantillon	
H8	Bien décomposé	Très terreux	Très difficile à discerner		2/3 de l'échantillon	
H9	Pratiquement complètement décomposé	Pratiquement complètement terreux	Presque pas visible	Mêlée à la substance passant entre les doigts	Presque tout l'échantillon	À peu près pas
H10	Complètement décomposé	Complètement terreux	Non visible		Tout l'échantillon	Aucun

Pour toutes ces raisons, il est préférable que ce type d'étude soit principalement axé sur les essais réalisés *in situ* et sur le comportement observé pendant la construction de remblais déjà réalisés au-dessus de dépôts similaires. Par conséquent, pour mieux caractériser ce type de formation, les essais de laboratoire ont graduellement été éliminés au profit de l'augmentation de la fréquence des essais réalisés *in situ*.

Récemment, des essais sur des échantillons prélevés là où les sols organiques avaient une capacité portante suffisante pour que la foreuse hydraulique puisse y accéder sans perturber la surface de la tourbière ont toutefois été concluants. En effet, des échantillons non remaniés ont pu être récupérés dans des sols organiques décomposés ne présentant pas ou très peu de racines ou de fibres végétales. Ils ont ensuite pu être transportés, puis soumis à des essais en laboratoire qui ont donné de bons résultats. Il s'agissait toutefois de tourbières composées de sols organiques de bonne capacité.

5. ÉTUDE THÉORIQUE

À la suite d'une analyse détaillée des résultats provenant des sondages et des essais réalisés sur place, il reste à procéder au calcul des tassements qui seront générés par la construction du remblai et également à vérifier si le sol peut supporter le remblai sans risque de rupture. Certaines méthodes de construction sur sols organiques ne nécessitent pas cette étape ([section 6](#)).

Avant de passer à l'étape du calcul, il nous paraît intéressant de présenter, au bénéfice du lecteur, la théorie de J. Vautrain concernant le mécanisme de consolidation des sols organiques.

5.1 Mécanisme de la consolidation des sols organiques (selon J. Vautrain)

Selon J. Vautrain du Laboratoire central des ponts et chaussées (aujourd'hui l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux), les végétaux morts laissent entre eux des vides de grandes dimensions expliquant la forte teneur en eau des sols organiques. L'eau occupe la plupart des vides et s'écoule librement si le sol organique n'est pas décomposé, d'où une perméabilité relativement élevée. Les piézomètres entrent en communication uniquement avec l'eau libre de ces vides dits « vides macroscopiques ». Les fibres contiennent quant à elles des vides microscopiques qui retiennent également l'eau. L'eau qui se trouve à l'intérieur de ces interstices y est emprisonnée et ne s'évacue que très lentement.

Lors de l'application d'une charge, la pression est d'abord reprise intégralement par l'eau des vides macroscopiques. Il y a alors une dissipation relativement rapide de la pression interstitielle mesurée par les piézomètres. Après dissipation de cette pression, la charge se trouve reportée sur les fibres végétales et ne s'évacuera qu'après l'éclatement de la fibre. Ce phénomène serait donc identique à celui d'une double consolidation où :

- U_1 = pression macroscopique mesurable;
- U_2 = pression microscopique non mesurable.

Il devient donc important de prévoir des périodes d'attente suffisantes pour permettre la meilleure consolidation possible de la couche organique. En effet, le tassement de la couche résulte de la consolidation du système macroscopique et du système microscopique. Ces deux consolidations se produisent simultanément, mais la seconde est retardée jusqu'à ce que $U_2 > U_1$. Selon cette étude, la courbe de tassement est considérablement influencée par le rythme de chargement et le tassement secondaire peut être associé au système de vides microscopiques.

L'étude permet de supposer que le tassement secondaire s'arrêtera uniquement lorsque les fibres seront totalement vidées de leur contenu, pourvu que la charge appliquée soit suffisante, ce qui devrait être très long.

Cette théorie démontre que l'utilisation de drains permet d'accélérer la dissipation interstitielle des vides macroscopiques, mais n'a que très peu d'effet sur les tassements secondaires. De plus, les méthodes de construction par consolidation, avec ou sans surcharge, ne permettent que de minimiser et, surtout, d'uniformiser les tassements postconstruction et non de les éliminer entièrement. L'utilisation d'une surcharge temporaire permet donc d'accélérer les tassements, mais son efficacité est principalement fonction du temps pendant lequel elle demeurera en place.

5.2 Calcul des tassements

Le calcul des tassements générés par les remblais construits sur une tourbière permet d'estimer les quantités additionnelles de matériaux requises pour atteindre le profil fixé.

Les essais de laboratoire effectués au cours des années 1960-1970 ont permis d'établir une relation évidente entre les tassements et l'épaisseur de la couche organique. La courbe ainsi obtenue a par la suite été corrigée en fonction des résultats observés en pratique sous un remblai de 1,2 à 2 m d'épaisseur. Sous un tel remblai, les tassements ne dépassent généralement pas 50 % de l'épaisseur des sols organiques pendant la période de construction. À long terme, les tassements peuvent être plus importants pour des remblais très épais. En effet, un tassement équivalant à 62 % de l'épaisseur d'un dépôt de 4 m de sols organiques a été observé sous un remblai de 8 m d'épaisseur.

Aujourd'hui, la courbe rajustée est relativement fiable pour les remblais de 1,2 à 2 m d'épaisseur, puisqu'elle permet de prévoir les tassements générés pendant la période de construction avec une précision d'environ 20 % (figure 2). Pour les constructions de remblais sur tourbières, une plus grande précision n'est pas requise, puisque cette courbe servira uniquement à l'estimation des quantités additionnelles de matériaux requises pour atteindre les profils fixés.

L'épaisseur totale de matériaux requise pour atteindre le niveau désiré pour le profil projeté est donnée par la formule suivante :

$$R_t = H_r \cdot 100 / (100 - T)$$

où : R_t : hauteur totale du remblai à construire;

H_r : hauteur prévue au-dessus de la surface du terrain naturel pour atteindre le niveau fixé pour la surcharge;

T : pourcentage de tassement prévu selon la courbe.

Exemple de calcul :

- Épaisseur de la couche organique : 3 m.
- Hauteur du profil final prévu pour le futur revêtement au-dessus de la surface du terrain naturel : 1200 mm.
- Épaisseur de la surcharge recommandée : 600 mm.
- Hauteur prévue au-dessus de la surface du terrain naturel : 1800 mm.

Selon la courbe de tassement montrée à la figure 2, le tassement (T) probable généré par la construction du remblai sera égal à 37 % de l'épaisseur posée. Par conséquent, la hauteur comprise entre la surface du terrain naturel et le profil final prévu pour la surcharge est donc égale à 63 % de l'épaisseur totale du remblai projeté. L'épaisseur totale de matériaux requise pour atteindre le niveau désiré est :

$$R_t = 1800 \text{ mm} \cdot 100 / 63 = 2860 \text{ mm}$$

Dans cet exemple, le tassement généré par la construction du remblai total prévu sera donc égal à environ 1060 mm, soit 2860 - 1800 mm. En début de consolidation, les tassements sont généralement plus rapides et plus importants que ne le prévoit la théorie.

5.3 Épaisseur de la surcharge (si requise)

L'épaisseur de la surcharge couramment utilisée au ministère des Transports du Québec pour réduire le tassement secondaire est de 600 mm. Cette hauteur de surcharge a été établie au cours des années 1970 en faisant un suivi de remblais de 1,2 à 2,0 m d'épaisseur pendant quelques années.

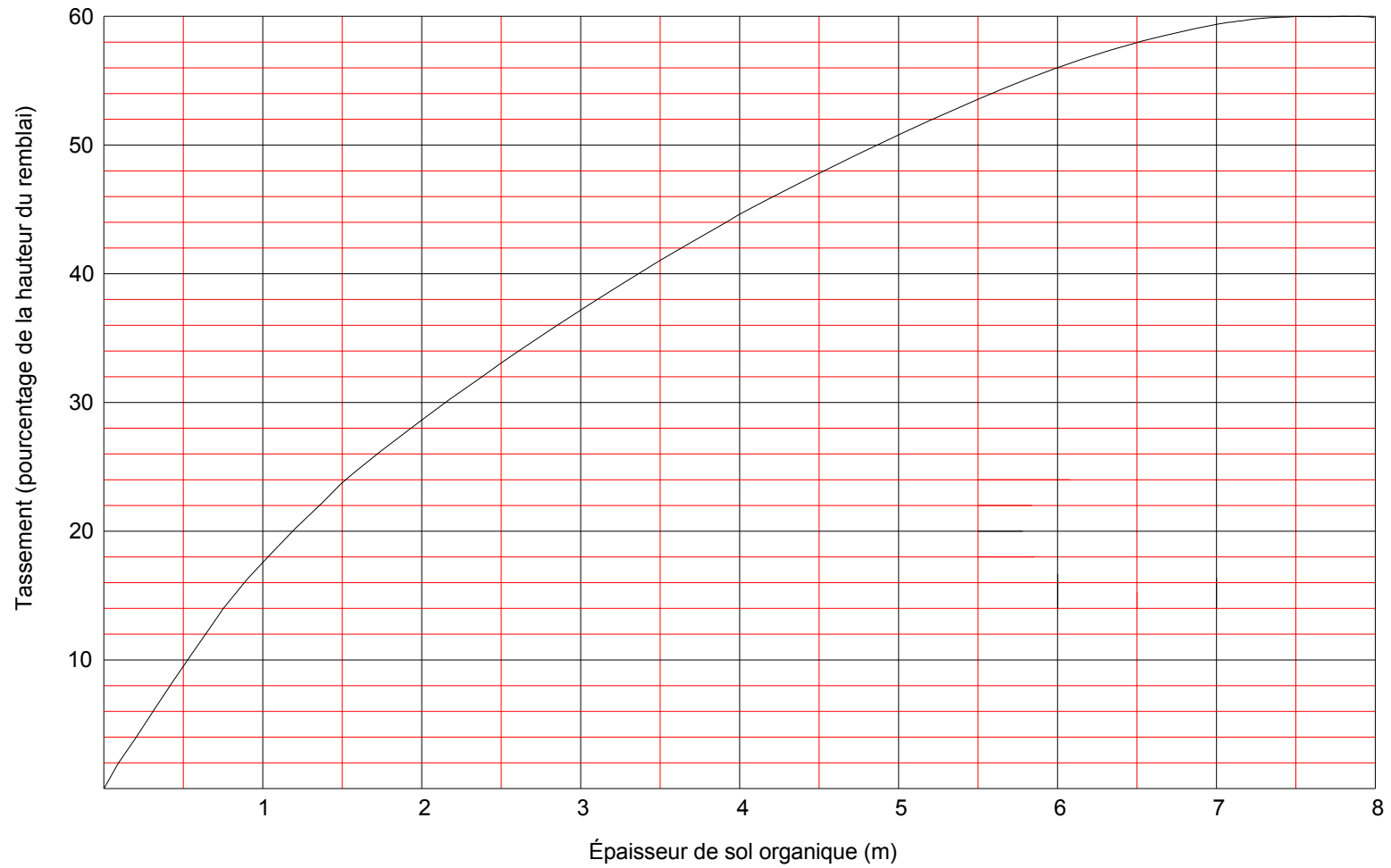


Figure 2. Courbe de tassement en fonction de l'épaisseur des sols organiques.

Deux articles publiés par Samson (1985)* et Mesri (1997)† nous indiquent que cette épaisseur de surcharge est insuffisante pour éliminer à long terme (jusqu'à 30 ans) les tassements secondaires. Dans son article, Samson rapporte qu'une surcharge équivalant à 50 % de la charge finale du remblai a réduit les tassements secondaires pendant une période de 5 à 8 ans seulement. Par la suite, le taux de tassement secondaire a progressé comme s'il n'y avait pas eu de surcharge. Mesri a établi, pour le site étudié dans son article, qu'il fallait une surcharge équivalant au poids du remblai pour limiter à de très faibles valeurs les tassements secondaires à long terme (30 ans).

Ces épaisseurs de surcharge impliqueraient des coûts de construction importants dans les cas de hauts remblais et de tourbières étendues. L'utilisation de la méthode de construction avec une surcharge de 600 mm dans le cadre de projets de développement du réseau routier du ministère des Transports du Québec a permis d'obtenir un comportement adéquat de la chaussée; c'est pourquoi une surcharge de cette ampleur est habituellement recommandée. Une surcharge plus importante, jusqu'à 1,2 m (double surcharge), est parfois recommandée dans des tourbières d'étendue limitée lorsque les épaisseurs de la couche organique varient trop rapidement, tant longitudinalement que transversalement.

Pour les constructions sur sols organiques, il est généralement admis que le tassement qui se produit en cours de construction est de l'ordre de 80 % du tassement total. Le 20 % résiduel provient de la consolidation secondaire. En se référant à la courbe de tassement élaborée à partir d'essais de laboratoire et d'observations pratiques, il est possible de faire une estimation de l'épaisseur de la surcharge requise pour provoquer, durant la période de construction, un tassement qui équivaldrait à près de 100 % du tassement total, si le remblai était construit sans l'utilisation d'une telle surcharge.

5.4 Analyse de la stabilité

En plus de leur très grande compressibilité, les sols organiques se caractérisent par leur faible capacité portante. Il est donc nécessaire de s'assurer que le dépôt peut supporter le remblai sans risque de rupture. *A priori*, les pentes du remblai ne doivent jamais être plus abruptes que 1V:2H pendant toute la période de construction.

En se basant sur les résultats des essais scissométriques effectués sur le chantier, qui constituent actuellement une mesure assez représentative de la résistance au cisaillement non drainée (Cu) des sols organiques assez décomposés (H5 à H10), une analyse de la stabilité à court terme du remblai doit être réalisée.

*L. Samson (1985). "Postconstruction Settlement of an Expressway Built on Peat by Precompression", *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 22, n° 3, p. 308-312.

†Mesri et collab. (1997). "Secondary Compression of Peat with or without Surcharging", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 123, n° 5, p. 411-422.

Pour réaliser une telle étude, une valeur de C_u représentative du dépôt organique est déterminée en tenant compte de la variabilité verticale et horizontale. Le tassement anticipé en cours de construction des sols organiques sous le remblai doit également être considéré pour faire le calcul avec la bonne épaisseur de remblai. Cependant, le gain de résistance qui se produit en cours de construction n'étant pas considéré, un coefficient de sécurité contre une rupture dans les sols organiques d'un minimum de 1,3 est jugé acceptable dans les cas de construction sur une tourbière.

Il arrive également que ce soit le dépôt sous-jacent aux sols organiques qui possède une résistance au cisaillement trop faible pour que le remblai puisse être construit sans risque de rupture. Pour un remblai construit sur un dépôt argileux ayant des pentes latérales de 2H:1V, une première estimation de la hauteur maximale de remblai pouvant être mise en place sans risque de rupture peut être faite en considérant que la contrainte due au poids du remblai doit être inférieure à 4 fois la résistance au cisaillement des sols argileux. Toutefois, si de l'argile est rencontrée sous la tourbière, il est recommandé de réaliser une étude géotechnique combinée pour la construction d'un remblai sur sols organiques et argileux. Le cas échéant, le coefficient de sécurité acceptable contre la rupture devra plutôt être celui qui est recommandé lors d'une étude traditionnelle pour la construction de remblais sur sols argileux, soit un coefficient de 1,5.

Advenant que le coefficient de sécurité calculé soit inférieur aux valeurs minimales recommandées, un abaissement du profil proposé peut tout d'abord être envisagé. S'il n'est pas possible de procéder à un tel abaissement, ce problème peut généralement être résolu soit par l'adoucissement des pentes, soit par l'ajout de contrepoids latéraux. Le dimensionnement des contrepoids sera alors déterminé à l'aide de nouveaux calculs de stabilité. Si l'ajout de contrepoids latéraux ne permet pas de résoudre un tel problème, un allègement du remblai à l'aide de matériaux légers tels que le polystyrène ou les résidus de bois (copeaux) peut également être envisagé.

5.5 Emplacement de l'instrumentation

Après avoir procédé au calcul des tassements et à l'analyse de la stabilité du remblai, il faut déterminer le type et l'emplacement des instruments lorsque la méthode de construction choisie préconise un programme d'instrumentation pour suivre le comportement du dépôt à chacune des étapes de la construction.

Les instruments de contrôle sont mis en place aux endroits les plus critiques et les plus représentatifs de la formation organique.

La fréquence des instruments de contrôle sera fonction de l'étendue et de l'uniformité de la formation organique, de son épaisseur, de sa résistance au cisaillement ainsi que de la nature et de la capacité portante de la couche sous-jacente. À moins de conditions très particulières, l'espacement moyen entre deux séries d'instruments de contrôle, qui se composent d'un indicateur de tassement, d'un piézomètre et de deux

indicateurs de déplacement latéral, doit être de 40 m. Cependant, il peut être nécessaire de prévoir l'installation de quelques instruments de contrôle additionnels, particulièrement aux endroits où la résistance au cisaillement est peu élevée. Plus d'information sur les instruments de contrôle, leur installation et leur utilisation est donnée à la [section 7](#), qui traite de l'instrumentation et du suivi en cours de construction.

6. MÉTHODES DE CONSTRUCTION

Ce chapitre traite des cinq méthodes utilisées par le ministère des Transports du Québec pour construire des remblais routiers sur sol organique.

6.1 Choix de la méthode

Après une analyse détaillée des résultats provenant des nombreux sondages et essais effectués sur place, le choix d'une méthode de construction doit être envisagé en tenant compte des principaux éléments suivants :

- importance de la route à construire;
- étendue de la formation organique;
- épaisseur et homogénéité de la couche organique;
- résistance au cisaillement des sols organiques;
- nature et capacité portante de l'horizon sous-jacent;
- hauteur du remblai à construire;
- disponibilité des matériaux d'emprunt;
- délais de construction;
- limite budgétaire.

6.1.1 Profil final de la chaussée

À partir d'essais de capacité portante effectués sur des sections de route construites sur une tourbière et également de l'expérience acquise au cours des années au ministère des Transports du Québec, le profil final du futur revêtement a été fixé à une hauteur minimale selon le type de route. Une hauteur minimale de 1,2 m au-dessus de la surface du terrain naturel initial est requise pour les routes secondaires avec une faible circulation et une hauteur minimale de 1,5 m est requise pour les autoroutes, les routes principales et les routes secondaires à fort débit de circulation lourde.

6.1.2 Outil décisionnel pour sols organiques d'épaisseur constante

Un graphique servant de guide dans le choix de la méthode de construction selon l'épaisseur des sols organiques et du remblai routier est présenté à la figure 3. Ce

graphique s'applique à la majorité des tourbières où l'épaisseur des sols organiques est assez constante le long du tracé de la future route. Les besoins en instrumentation et les restrictions concernant la pose des couches de remblai y sont indiqués en fonction de l'épaisseur des sols organiques.

Lorsque l'épaisseur des sols organiques est inférieure à 2 m, la méthode préconisée sera celle de la consolidation sans surcharge. Au-delà de 2 m d'épaisseur de sols organiques, la méthode de consolidation par surcharge est de mise pour minimiser les tassements différentiels. Pour un remblai d'épaisseur inférieure à 1,2 ou à 1,5 m selon le type de route, deux options sont envisageables, soit l'excavation des sols organiques ou l'augmentation de l'épaisseur du remblai routier à l'épaisseur minimale recommandée.

6.2 Remblai traditionnel

Généralement, le remblai traditionnel est utilisé pour des dépôts uniformes dont l'épaisseur n'excède pas 1 m et où le remblai à construire est suffisamment élevé (plus de 1,2 ou de 1,5 m selon le type de route) pour assurer la meilleure consolidation possible du dépôt organique durant la période de construction.

Cette méthode de construction consiste à construire le remblai de façon traditionnelle, sans tenir compte de la couche organique. En réalité, il s'agit d'une consolidation sans surcharge des sols organiques sous le poids du remblai routier. Aucun programme d'instrumentation n'est nécessaire.

La première couche devra avoir une épaisseur de 600 mm et être composée de sable drainant (MG-112 ou l'équivalent) pour une épaisseur de sols organiques inférieure à 0,5 m. Toutefois, cette couche initiale est augmentée à 900 mm d'épaisseur ([section 6.5.1](#)) pour une couche organique ayant une épaisseur variant de 0,5 à 1 m. Par la suite, le remblai peut être complété de la même façon qu'un remblai construit au-dessus d'un sol minéral ferme.

6.3 Excavation

L'excavation complète de la couche organique sous le remblai est généralement envisagée lorsque l'épaisseur de cette couche est inférieure à 1 m, que la hauteur du remblai à construire au-dessus de la surface du terrain naturel est inférieure à 1,2 ou à 1,5 m selon le type de route et que l'horizon sous-jacent au dépôt organique est constitué d'un sol de meilleure capacité portante. Dans certains cas, il peut s'avérer plus avantageux de procéder à un léger rehaussement du profil de façon à éviter l'excavation de la couche organique.

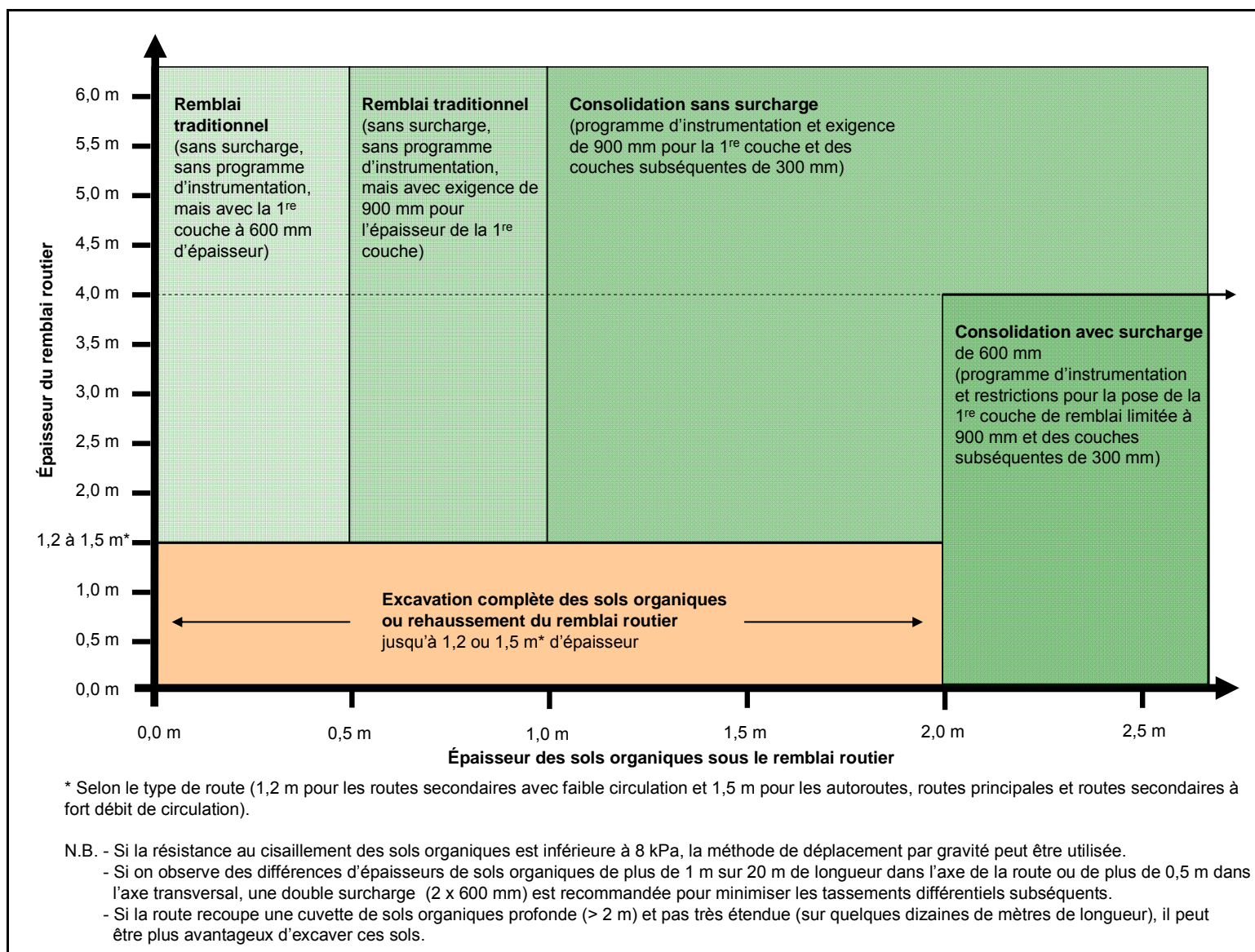


Figure 3. Choix de la méthode de construction d'une route traversant une tourbière en fonction de l'épaisseur du remblai routier et des sols organiques sous-jacents.

De plus, dans le but de s'assurer d'un comportement uniforme de la future chaussée, il peut être nécessaire de recommander l'excavation complète d'une tourbière plus épaisse (jusqu'à 2 m). Dans un tel cas, l'excavation s'applique surtout à des dépôts organiques de faible étendue, soit de quelques dizaines de mètres, et lorsque leur épaisseur est très variable, dans le sens longitudinal ou transversal par rapport à la future chaussée (par exemple, une cuvette dans le roc remplie de sols organiques).

Enfin, l'excavation peut également être recommandée lors d'un projet d'élargissement d'une chaussée existante construite au-dessus d'un dépôt organique. En effet, en raison du degré de consolidation atteint par les sols organiques emprisonnés sous le remblai depuis plusieurs années, l'excavation complète de la couche organique sur toute la largeur prévue de l'élargissement peut s'avérer la meilleure solution pour assurer un comportement plus uniforme de la future chaussée.

La norme à suivre lorsque l'excavation complète des sols organiques est recommandée est illustrée par le dessin normalisé numéro 007 du chapitre sur le terrassement dans la collection *Normes – Ouvrages routier* du Ministère ([tome II, chapitre 1](#)).

6.3.1 Excavation partielle des sols organiques

En général, l'excavation complète de la couche organique et son remplacement par un matériau de bonne qualité sont recommandés. Cependant, si l'excavation complète des sols organiques est impossible sans mettre en danger la stabilité du remblai existant, une excavation partielle de la couche organique doit être envisagée. Dans un tel cas, l'excavation partielle des sols organiques doit être jumelée à une autre méthode de construction, soit le déplacement par gravité ou la consolidation par surcharge. Des pentes de transition devront alors être aménagées dans les sols organiques ([section 7.1.5](#)).

6.3.2 Élargissement d'un remblai existant

Dans le cas d'une excavation pour un projet d'élargissement, la capacité portante de l'horizon sous-jacent doit être suffisante et l'excavation des sols organiques ne doit pas mettre en danger la stabilité du remblai existant. Afin d'assurer la stabilité du remblai existant, il est recommandé d'excaver le sol par petites sections et de remblayer ces sections au fur et à mesure. Un remblayage immédiat doit également être fait lorsque l'épaisseur des sols organiques dépasse 1,5 m. Un délai peut entraîner la rupture de la paroi d'excavation et nécessiter ainsi de l'excavation supplémentaire.

6.4 Consolidation sans surcharge

La méthode de construction par consolidation sans surcharge consiste à provoquer le tassement du dépôt organique de façon graduelle en prenant soin d'éviter toute rupture

par cisaillement du sol servant de fondation au remblai. Le tassement graduel du sol organique s'obtient en suivant sensiblement les mêmes étapes et les mêmes exigences que celles préconisées pour une construction par la méthode de consolidation par surcharge ([section 6.5](#)), sauf qu'elle ne nécessite pas l'utilisation d'une telle surcharge, réduisant ainsi les coûts de réalisation.

Pour que cette méthode puisse être pleinement efficace, le profil final de la future route doit toutefois être fixé à une hauteur minimale de 1,2 à 1,5 m au-dessus de la surface du terrain naturel initial, selon le type de route.

Cette méthode est généralement recommandée pour la construction de remblais au-dessus de dépôts organiques d'épaisseur uniforme et plus particulièrement lorsqu'il s'agit d'une route à faible densité de circulation et que la pose d'un revêtement peut être retardée de quelques années, ce qui permet de corriger aisément, uniquement par l'addition de matériaux, les tassements qui se produisent après la construction. Cette méthode peut également être envisagée lorsque la capacité portante du sol organique ou de l'horizon sous-jacent ne permet pas de supporter la contrainte additionnelle générée par la mise en place d'une surcharge.

Cette méthode peut en outre être envisagée pour des questions d'ordre économique, particulièrement dans le cas de tourbières de très grande étendue. Il faut toutefois retenir que cette méthode ne permet pas de réduire les tassements secondaires postconstruction, qui pourraient alors être assez importants et, par conséquent, nécessiter plus de corrections de profil ultérieures à la construction, contribuant ainsi à augmenter les coûts d'entretien de la future chaussée.

Les étapes de construction du remblai sont les mêmes que celles mentionnées pour la méthode de consolidation par surcharge explicitée à la [section 6.5](#). Par contre, l'instrumentation de contrôle pourra être sensiblement réduite.

Le dessin normalisé 014 du chapitre sur le terrassement dans la collection *Normes – Ouvrages routier* du Ministère ([tome II, chapitre 1](#)) illustre les différentes étapes d'une construction par la méthode de consolidation sans surcharge.

6.4.1 Couche additionnelle de 150 mm

Lors de la construction du remblai, il faut prévoir la pose d'une couche additionnelle de 150 mm d'épaisseur qui est mise en place au-dessus du profil de la sous-fondation. Cette couche additionnelle est placée pour compenser en partie les tassements qui seront générés par la pose des matériaux de fondation. Après la pose de cette couche et après une période d'attente d'une durée minimale de deux semaines, il faut niveler le remblai, recompacter la nouvelle surface et, enfin, procéder à la pose des matériaux de fondation.

6.5 Consolidation par surcharge

La consolidation par surcharge, fréquemment recommandée pour la construction de remblais routiers au-dessus de sols organiques, a permis d'obtenir des résultats très satisfaisants. Elle est généralement préconisée pour la construction de routes à forte densité de circulation ou de routes qui seront soumises au passage de nombreux véhicules lourds et dont le tracé proposé traverse des formations organiques de plus ou moins grande étendue, d'épaisseur supérieure à 2 m ou variable, c'est-à-dire ayant une pente supérieure à 1V:20H. Pour des dépôts d'épaisseur très variable, l'excavation peut être une meilleure solution.

La méthode de consolidation par surcharge consiste à provoquer le tassement accéléré du dépôt organique en soumettant le sol de fondation à une charge supérieure à celle qui lui sera imposée par le remblai définitif, tout en prenant soin d'éviter toute rupture par cisaillement du sol servant de fondation au remblai. La surcharge est généralement composée d'une couche de matériaux granulaires de 600 mm d'épaisseur qui est déposée temporairement, pendant une période minimale de 120 jours, au-dessus du profil final projeté. En général, il est préférable de construire un remblai avec sa surcharge avant l'hiver et de laisser celle-ci agir pendant toute la saison froide.

Le but de cette méthode est d'obtenir dans une période relativement courte, soit le délai prescrit au contrat, le tassement qui ne serait atteint qu'après plusieurs années sans l'utilisation d'une telle surcharge. Cette méthode de construction permet donc de minimiser et d'uniformiser les tassements postconstruction et ainsi d'éliminer en majeure partie les tassements différentiels exigeant de fréquentes corrections de profil après l'ouverture de la route. Cependant, dans les tourbières avec présence de mares ou de lacs, cette méthode n'assure pas nécessairement un bon comportement du remblai.

L'efficacité de cette méthode dépend directement des caractéristiques et de l'épaisseur de la couche organique, de l'épaisseur de la surcharge par rapport à la hauteur du remblai ainsi que de la nature et de la capacité portante de la couche sous-jacente.

La faible capacité portante, caractéristique importante des dépôts organiques tout comme leur forte compressibilité, exige que la construction du remblai se fasse par étapes de façon à éviter toute rupture par cisaillement de la couche organique. De plus, la réussite de cette méthode exige que certaines restrictions quant à la masse de l'outillage utilisé, à l'espacement des unités de transport et de construction de même qu'aux périodes d'attente préconisées entre chaque couche soient strictement respectées.

La méthode de construction par consolidation par surcharge exige un suivi rigoureux des exigences et des limitations qu'elle comporte, et ce, pendant toute la durée de la construction. La moindre erreur sur le plan de la réalisation peut entraîner des coûts de

réparation très élevés en cours de construction et également nécessiter un entretien plus fréquent après l'ouverture de la chaussée.

Par conséquent, il faut s'assurer que toutes les étapes et les exigences prescrites sont observées et qu'une instrumentation adéquate est installée avant le début des travaux de façon à suivre constamment l'évolution du dépôt en cours de construction.

Les dessins normalisés 011, 012 et 013 du chapitre sur le terrassement dans la collection *Normes – Ouvrages routier* du Ministère ([tome II, chapitre 1](#)) illustrent de façon détaillée la méthode de consolidation par surcharge.

6.5.1 Couche initiale

Une fois que les lectures initiales ont été prises et enregistrées pour chacun des instruments de contrôle, la pose d'une première couche de matériau granulaire, généralement du sable MG-112, directement au-dessus de la couche organique, peut débuter. Afin d'éviter tout poinçonnement de la croûte fibreuse, le matériau utilisé ne devra pas contenir de pierres dont le diamètre excède 100 mm. Cette première couche a une épaisseur de 900 mm; des indicateurs de couche doivent être mis en place pour s'assurer d'un bon contrôle de son épaisseur.

Le contrôle de l'épaisseur de la couche initiale est d'une importance primordiale pour le succès d'une construction sur tourbière. Ainsi, les indicateurs de couche sont placés à intervalles assez rapprochés pour permettre à l'opérateur du bouteur de bien contrôler l'épaisseur de cette première couche. Le bout peinturé de l'indicateur de couche doit rester apparent tant que les camions n'ont pas commencé à déverser leur chargement en avant (par rapport au front d'avancement) de l'indicateur.

Pendant toute la durée de la pose de la couche initiale, une surveillance constante doit être exercée afin de s'assurer que toutes les exigences prescrites sont strictement observées. La majeure partie des problèmes rencontrés lors de la construction de remblais au-dessus de tourbières survient à cette étape de la construction.

Après la mise en place de cette première couche, une période d'attente, dont la durée est déterminée par les piézomètres, est nécessaire afin de permettre la consolidation des sols organiques et la dissipation des pressions interstitielles.

6.5.2 Couches subséquentes

Par la suite, le remblai peut être complété jusqu'au niveau prévu pour la surcharge par couches successives de 300 mm d'épaisseur. Dans certains cas particuliers, l'épaisseur des couches peut être moindre. Entre la pose de chacune des couches, il faut prévoir une période d'attente dont la durée est également déterminée en se basant sur les relevés enregistrés par les piézomètres. Dans les cas où l'installation de

piézomètres n'est pas prévue, la période d'attente normale en jours, entre la pose de deux couches, peut être estimée à 2,5 % de l'épaisseur en millimètres de la dernière couche posée, soit approximativement une semaine pour une couche de 300 mm.

6.5.3 Surcharge

La surcharge est mise en place sur sa pleine hauteur au droit de la zone où la méthode de construction recommandée est la consolidation par surcharge, puis elle s'amincit progressivement avec une pente de 1V:25H au-dessus du remblai construit avec la méthode de consolidation sans surcharge ou du remblai traditionnel sur sols organiques.

6.5.4 Période d'attente finale

La période d'attente prévue après la mise en place de la surcharge est également déterminée par les instruments de contrôle. Idéalement, la surcharge devrait demeurer en place tant que les pressions interstitielles ne sont pas entièrement dissipées et les tassements primaires, considérés comme terminés.

En pratique, une période d'attente d'environ 6 mois entre la fin des travaux de chargement et l'enlèvement de la surcharge permet d'atteindre un degré de consolidation jugé satisfaisant. Cependant, la durée de cette période d'attente ne doit être en aucun temps inférieure à 120 jours. L'efficacité d'une surcharge est directement proportionnelle à la durée pendant laquelle la surcharge demeure en place.

Dans certains cas, lorsque les tassements sont très importants pendant la période d'attente, il peut être nécessaire d'ajouter un peu de matériau granulaire pour conserver la cote de surcharge requise.

6.5.5 Fin de la consolidation

Après avoir atteint une consolidation suffisante du dépôt organique, le surplus de remblai est enlevé jusqu'à la ligne de sous-fondation. Les matériaux ainsi récupérés peuvent servir à l'adoucissement des pentes du remblai, tout en conservant le pied de remblai au même endroit, ou être transportés pour être réutilisés sur une autre section de la route.

Dans le but d'éviter un trop grand rebondissement du dépôt organique, la pose de matériaux de fondation doit suivre au fur et à mesure l'enlèvement de la surcharge. Lors de cette opération, toute accumulation de matériaux granulaires sur la tourbière doit être évitée. En aucun cas ces travaux ne peuvent être réalisés s'il y a présence de gel dans le remblai.

6.6 Déplacement par gravité

Une troisième méthode de construction utilisée pour le franchissement de tourbières consiste à procéder au déplacement par gravité des sols organiques. Ce traitement est généralement approprié pour la construction de remblais au-dessus de formations organiques de faible étendue, dont l'épaisseur est importante et dont la capacité portante n'est pas suffisamment élevée pour supporter la construction du remblai proposé (résistance au cisaillement des sols organiques < 8 kPa). Une condition essentielle à l'utilisation de cette méthode est que la capacité de support du substratum minéral doit être suffisante pour accueillir le remblai proposé. La plupart des formations organiques où cette méthode de construction est appropriée se rencontrent en terrain montagneux. Dans ces secteurs, du roc dynamité de bonnes dimensions est généralement disponible en grande quantité. Ces matériaux sont tout à fait appropriés pour procéder au déplacement de sols organiques.

Cette méthode de construction est utilisée uniquement si aucune autre méthode de construction sur tourbière n'est applicable. En effet, même si la résistance au cisaillement des sols organiques est peu élevée, c'est-à-dire qu'ils sont de consistance très molle (< 8 kPa), leur déplacement complet s'avère quelquefois très ardu. De plus, il est excessivement difficile d'effectuer un contrôle efficace en cours de construction. Par conséquent, si toutes les précautions requises ne sont pas prises, il peut arriver que des poches de sols organiques demeurent emprisonnées sous le remblai, ce qui se traduira tôt ou tard par un comportement déficient de la future chaussée.

Les dessins normalisés 008, 009 et 010 du chapitre sur le terrassement dans la collection *Normes – Ouvrages routier* du Ministère ([tome II, chapitre 1](#)) illustrent de façon détaillée la méthode de déplacement par gravité des sols organiques.

6.6.1 Remblai et surcharge de progression

Le déplacement par gravité consiste à construire le remblai de façon à déplacer, le plus complètement possible, les sols organiques vers l'extérieur du remblai. Le déplacement par gravité peut s'effectuer suivant deux approches différentes :

- refoulement des sols organiques d'un seul côté du remblai;
- refoulement des sols organiques de chaque côté du remblai.

Le remblai doit être construit sur toute la largeur de la future plate-forme et être suffisamment élevé pour assurer un poinçonnement efficace de la couche organique. Les pentes du remblai doivent être maintenues le plus abruptes possible et la progression du remblai doit toujours se faire dans la même direction. Si le déplacement des sols organiques se fait vers les deux côtés du remblai, sa progression s'effectue en forme de pointe. Dans le cas où les sols organiques sont déplacés vers un seul côté du remblai, sa progression se fait suivant un angle de 45° par rapport à la ligne de centre.

Pour chacune des deux approches, il est recommandé de prévoir l'utilisation d'une surcharge de progression dont l'épaisseur est généralement fixée à 1,5 m. De plus, il peut être nécessaire, pour un même dépôt, d'utiliser conjointement les deux approches si l'épaisseur de la couche organique est très variable. Il faut toujours procéder au déplacement du sol organique dans la direction où l'épaisseur des sols organiques s'accroît.

6.6.2 Excavation de la croûte fibreuse

Aux endroits où la croûte fibreuse de surface, dont l'épaisseur varie généralement de 600 à 900 mm, est résistante et peut nuire au déplacement des sols organiques, elle doit être excavée, et ce, sur toute la largeur équivalant à la plate-forme finale du remblai. Cette excavation se fait au fur et à mesure au front d'avancement du remblai.

6.6.3 Tranchées longitudinales

Pour la majeure partie de ces formations organiques, il est également nécessaire de procéder, lors de la progression de la surcharge, au creusage de tranchées longitudinales visant à faciliter l'évacuation des sols organiques soit vers un seul côté du remblai, soit vers les deux côtés. Ces tranchées latérales sont situées au pied du remblai projeté. Leur profondeur d'excavation est fixée en fonction de l'épaisseur de la croûte fibreuse. Ces tranchées doivent être régulièrement nettoyées en cours de construction de façon à éviter que l'accumulation de sols organiques nuise au déplacement complet des sols organiques, qui pourraient demeurer emprisonnés sous le futur remblai et ainsi occasionner un mauvais comportement de la future chaussée. S'il y a formation de bourrelets frontaux ou latéraux pouvant nuire au déplacement complet des sols organiques, ces derniers doivent être enlevés au fur et à mesure de la progression du remblai.

6.6.4 Suivi et surcharge temporaire

Pour les secteurs où cette méthode de construction est préconisée, il est recommandé que les travaux de chargement soient effectués dès que possible. En outre, il est suggéré de suivre le comportement du remblai en procédant à des relevés de tassement réguliers après les travaux de chargement.

Si des tassements importants sont enregistrés après le chargement du remblai, l'utilisation d'une surcharge temporaire pourrait assurer une stabilisation plus complète de celui-ci avant de procéder à la pose du revêtement bitumineux. Ces matériaux pourront par la suite être récupérés et réutilisés pour l'adoucissement des pentes et le remplissage des tranchées latérales. Le compactage dynamique du remblai pourrait également être envisagé pour terminer le déplacement ou pour poinçonner les sols organiques qui seraient restés emprisonnés sous le remblai, si les sols sous-jacents le permettent.

7. CONSTRUCTION SUR SOLS ORGANIQUES

Les recommandations, les exigences et les limitations générales qui doivent être respectées en cours de construction sont sensiblement les mêmes pour toutes les méthodes de construction où les sols organiques sont laissés en place sous le remblai.

7.1 Déboisement

Le déboisement de la zone à traiter se fait en prenant soin de couper les arbres et les arbustes à moins de 150 mm de la surface du sol. Afin de ne pas endommager la croûte de surface servant de support au futur remblai, le décapage et l'enlèvement des souches sont proscrits. La machinerie lourde (débusqueuse, pelle mécanique, etc.) utilisée pour le déboisement ne doit pas circuler à moins de 6 m du pied du remblai projeté. Dans des cas particuliers, la machinerie lourde peut circuler exceptionnellement sur la tourbière, soit lorsque la croûte en surface est très résistante ou lorsque des dispositions particulières sont prises ([section 2.3](#)). Il peut par exemple être envisagé de faire la coupe des arbres et de sortir les billes par des chemins hivernaux, puis de finaliser la coupe des souches et le ramassage des branches au printemps.

Les résidus du déboisement sont transportés à l'extérieur de l'emprise du remblai pour y être normalement déchiquetés. Aucun feu n'est toléré sur la surface de la tourbière, car cela risquerait d'affaiblir sa capacité portante. Afin de ne pas briser la croûte de surface, tout outillage mécanique doit au préalable être autorisé pour circuler soit à l'intérieur, soit à l'extérieur de l'emprise projetée.

7.2 Obstacles existants

Lorsqu'il y a comblement de fossés ou d'ornières existants à faire pendant la construction d'un remblai à l'aide de la méthode de consolidation par ou sans surcharge, il est souhaitable de combler les dépressions avec des sols organiques jusqu'au niveau de la surface de la tourbière environnante et de continuer par la suite le remblayage à l'aide d'un sable MG-112.

Lorsqu'un nouveau tracé passe sur un secteur de sols organiques consolidés par le passé, par exemple lorsqu'une route existante est traversée perpendiculairement, une surcharge doit être mise en place. La surcharge vise à maximiser les tassements de chaque côté de l'obstacle et ainsi à éliminer les tassements différentiels entre les sols organiques consolidés et ceux non consolidés, afin de favoriser un comportement uniforme du remblai routier projeté.

L'utilisation de géogrilles est requise lorsque des fossés sont traversés par un nouveau tracé ([section 7.4](#)).

7.3 Drainage

7.3.1 Ponceaux

À cause de la grande compressibilité des sols organiques et des comportements différentiels anticipés, il est préférable de prévoir l'installation des ponceaux aux extrémités d'un dépôt organique, de façon à ce qu'ils soient mis en place directement au-dessus d'un sol minéral. Cependant, dans certains cas, il faut prévoir la pose d'un ponceau dans un secteur où l'épaisseur de la couche organique est importante. Pendant la période de construction, il faut prévoir l'utilisation d'un ponceau temporaire, installé après la pose du coussin initial.

Quant au ponceau définitif, il est mis en place uniquement après la consolidation des sols organiques, soit immédiatement avant la pose des fondations. Comme le préconisent le chapitre sur les ponceaux dans la collection *Normes – Ouvrages routier* du Ministère ([tome III, chapitre 4](#)), les ponceaux à prévoir sous les autoroutes et sous certaines routes où la situation est jugée à risque, par exemple en présence d'un lien unique pour desservir une région donnée, doivent être en béton. La conception des ponceaux de béton dans une tourbière devra tenir compte des tassements à long terme et il est souvent recommandé d'utiliser des sections courtes préfabriquées en béton. Exceptionnellement, des tuyaux thermoplastiques (polyéthylène à haute densité – PEHD) peuvent être installés sous les autoroutes si les eaux de la tourbière sont très acides. Les tuyaux en PEHD peuvent subir une certaine déformation sans se rompre, mais si leur diamètre excède 1,2 m, ils devront être munis de joints vissés pour éviter la création d'ouvertures.

Pour les autres catégories de routes, des tuyaux de tôle ondulée aluminisée ou en acier galvanisé qui acceptent également une certaine déformation peuvent être utilisés. Dans le but de prolonger la durée de vie de tels ponceaux et de minimiser la dégradation rapide due à la corrosion du métal, il est recommandé d'utiliser des ponceaux dont l'épaisseur minimale de la tôle est de 5 mm. L'épaisseur minimale de métal peut être réduite à 4,2 mm si le ponceau possède un recouvrement de polymère. Des tuyaux circulaires hélicoïdaux de tôle ondulée en acier (< 3,6 m de diamètre) ou en aluminium (< 3,0 m de diamètre) à joints agrafés peuvent également être utilisés.

Dans le cas d'un ponceau déposé directement sur le sol organique, il est fortement recommandé de l'orienter perpendiculairement par rapport à la direction de la chaussée afin de minimiser l'inconfort éventuel des usagers de la route, qui pourrait survenir à la suite de tassements différentiels dans les sols organiques avoisinants.

Si la pose du ponceau nécessite l'excavation complète des sols organiques afin de le déposer sur le sol minéral, des transitions doivent être prévues de part et d'autre du ponceau afin de minimiser les tassements différentiels. Une pente de 1V:5H est recommandée pour la transition avec les sols organiques ([section 7.5](#)).

7.3.2 Fossés latéraux

Lorsque le profil final de la future chaussée est fixé à une hauteur minimale de 1,2 ou de 1,5 m au-dessus de la surface du terrain naturel initial, selon le type de route, il est possible d'éliminer le creusage de fossés latéraux. Toutefois, il faut s'assurer que la mise en place du remblai n'empêche pas l'écoulement naturel de l'eau, ce qui pourrait occasionner l'inondation des terrains adjacents. Dans certains cas, des ponceaux de transfert ou d'équilibre additionnels permettant d'assurer l'écoulement libre de l'eau d'un côté à l'autre du remblai doivent alors être mis en place.

Dans les cas où les fossés latéraux sont jugés nécessaires, il est recommandé que leur profondeur n'excède pas 1 m, puisqu'ils ne servent généralement qu'à la canalisation de l'eau de surface et au drainage des fondations du remblai. De plus, afin de ne pas compromettre la stabilité du remblai, il est très important que la distance minimale entre le haut intérieur des fossés et la base du remblai soit fixée à 6 m et que ces derniers soient creusés après la fin des travaux de chargement. La période idéale pour procéder au creusage de ces fossés se situe immédiatement après l'enlèvement de la surcharge et avant la pose des fondations. Dans le cas où leur profondeur excède 1 m, ces fossés seront éloignés d'une distance additionnelle de 3 m pour chaque 300 mm de profondeur supplémentaire.

7.4 Utilisation de géogrilles

La mise en place d'une géogrille sur les sols organiques est requise dans les cas suivants :

- franchissement de fossés;
- transitions de ponceaux;
- tourbière avec lacs;
- surface de tourbière avec ornières dues au passage de la machinerie lourde.

Dans les cas d'ornières et de fossés, la géogrille doit dépasser le bord du fossé ou de l'ornière sur une distance d'au moins 2 m. Son usage permet d'uniformiser le comportement ultérieur de la chaussée en répartissant mieux la charge du remblai.

La mise en place d'une géogrille dans les transitions pratiquées à l'approche de ponceaux permet d'uniformiser le comportement du remblai au cas où la surface aurait été un peu trop perturbée par l'excavation.

Les géogrilles permettent de faciliter la construction sur une tourbière parsemée de petits lacs ou de mares assez profondes. Elles diminuent le risque de poinçonnement, pourvu que le chargement se fasse le plus possible à partir du pourtour du lac.

Finalement, l'usage généralisé de géogrilles sur toute l'emprise des remblais construits sur sols organiques n'est pas requis. Les géogrilles n'améliorent pas la capacité de la

chaussée en raison de l'épaisseur importante du remblai mis en place au-dessus d'elles. De plus, elles n'empêchent pas l'amorce de rupture si le contrôle de l'épaisseur de la première couche n'est pas bien réalisé.

L'usage des géogrilles est cependant très pertinent pour des chemins secondaires ou temporaires non revêtus. Elles permettent en effet d'augmenter la capacité de support des sols organiques et ainsi de réduire l'épaisseur de matériau granulaire requise.

7.5 Pente d'excavation dans les sols organiques

Une pente d'excavation est réalisée dans les sols organiques soit lorsque la méthode de construction par excavation est choisie conjointement avec une méthode de construction où les sols organiques sont laissés en place (remblai traditionnel et consolidation par ou sans surcharge), soit pour la mise en place d'un ponceau. La pente recommandée pour la transition est de 1V:5H. Il faut également prévoir l'installation d'une géogridde ([section 7.4](#)) et la mise en place d'une surcharge de 600 mm dans les zones de transition ([section 6.5.3](#)).

7.6 Installation des instruments de contrôle

Les instruments nécessaires au contrôle de la construction sur sols organiques sont :

- indicateurs de couche;
- indicateurs de tassement;
- piézomètres;
- indicateurs de déplacement latéral.

Les instruments sont fournis ou fabriqués par l'entrepreneur, qui doit également fournir tout le soutien logistique pour faciliter leur installation, faite ou supervisée par le Ministère ou son représentant. L'installation se fait au moins deux semaines avant le début des travaux de chargement afin de permettre la prise des lectures initiales et des points de référence. Le Service de la géotechnique et de la géologie offre, si nécessaire, un soutien technique pour la pose des piézomètres.

La [section 8](#) sur l'instrumentation et le contrôle donne une description détaillée de chacun de ces instruments, de leur utilisation et de l'interprétation des relevés effectués en cours de construction par chacun de ces instruments.

L'entrepreneur doit veiller à la protection et au bon fonctionnement des instruments de contrôle et demeure responsable des bris ou des dommages qui pourraient leur être causés. Dans certains cas, les travaux peuvent être arrêtés jusqu'au remplacement et à la stabilisation d'un instrument. Un représentant désigné par le Ministère s'occupera de la prise des lectures des instruments.

7.7 Travaux de remblayage

7.7.1 Limites de pression au sol et de masse

Lors de la mise en place des matériaux sur les sols organiques, la pression au sol générée par les pneus est limitée afin de prévenir la formation d'ornières dans le remblai, tandis que la masse totale de la machinerie utilisée est limitée pour assurer la stabilité du remblai en cours de construction.

La masse maximale permise pour les camions chargés circulant sur le remblai est fonction de la capacité portante et de l'épaisseur du dépôt organique, de la nature et de la capacité portante de l'horizon sous-jacent ainsi que du comportement anticipé de l'ensemble du terrain étudié. Les recommandations énoncées dans les paragraphes suivants s'appliquent à la construction de remblais sur des sols organiques de consistance peu élevée à moyennement élevée (molle à ferme). Ces limites pourraient ne pas être suffisantes pour des travaux sur des sols organiques très mous et pourraient être pénalisantes sur une tourbière très résistante. Le suivi des déformations à la surface de chaque couche, soit l'apparition d'ornières là où circulent les camions ou de fissures en bordure du remblai, reste le meilleur indicateur pour diminuer ou augmenter la masse maximale permise.

Afin de prévenir la formation d'ornières, la masse maximale des camions à deux essieux arrière (10 roues) chargés ne doit pas excéder 20 000 kg lors de la pose du coussin initial, qui est une étape déterminante pour la réussite des travaux qui permettront un comportement adéquat de la chaussée. D'autres types de camions peuvent être autorisés à circuler sur un remblai routier érigé sur des sols organiques, à la condition de ne pas générer des pressions excessives sur la tourbière. À titre d'exemple, les camions à deux essieux arrière ou les camions à tombereau articulé peuvent circuler sur le coussin initial lorsqu'ils sont équipés de pneus à sable. Toutefois, afin d'assurer la stabilité du remblai en cours de construction, la masse totale du camion chargé ne doit pas dépasser 45 500 kg, soit plus ou moins la pleine charge du camion Volvo A25F.

Advenant l'apparition d'ornières de plus de 300 mm de profondeur, même dans le cas où des pneus à sable sont utilisés, le surveillant de chantier doit faire niveler la surface. Si les ornières restent présentes, la charge des camions devra être diminuée temporairement, le temps que la situation problématique soit corrigée.

Pour la pose des couches subséquentes, la masse totale des camions chargés, équipés ou non de pneus à sable, peut souvent être augmentée, sans toutefois dépasser 45 500 kg, pourvu que le comportement observé lors de la pose du coussin initial le permette. L'apparition d'ornières est aussi à surveiller sur les couches subséquentes.

En ce qui concerne la masse maximale permise pour le boueur utilisé, elle ne doit pas excéder 12 000 kg, et ce, pendant toute la durée de la construction.

7.7.2 Transport des matériaux

Lors de la pose du coussin initial, les camions doivent tourner à environ 30 m du front d'avancement du remblai, afin que cette manœuvre se fasse en un endroit ayant acquis une certaine stabilité. Quant au déchargement des camions, il doit se faire à une distance minimale de 15 m du même point. Cette exigence permet un meilleur compactage de la couche initiale par le bouteur et diminue le risque d'orniérage dans les sols organiques. La distance à garder entre deux camions ou autres véhicules de masse équivalente doit toujours être supérieure à 30 m.

Il est important que les camions circulent sur une surface déjà densifiée ([section 7.7.3](#)). Cette circulation doit se faire sur toute la largeur du remblai de façon à éviter de suivre les mêmes traces de pneus ou des chemins préférentiels susceptibles de causer une déformation permanente pouvant éventuellement se répercuter sur la future chaussée. Cependant, les camions ne doivent pas s'approcher à moins de 1,5 m du bord du remblai.

En terminant les travaux le soir, l'épaisseur de la couche initiale de 900 mm devra être diminuée au front d'avancement du remblai à 450 mm sur une longueur d'environ 5 m. Pendant toute la durée de la construction, aucun véhicule au repos ni aucune mise en réserve de matériaux ne seront tolérés sur toute l'étendue des zones de sols organiques.

7.7.3 Compactage du remblai

Après la mise en place du coussin initial, quatre passes de compacteur sont considérées comme suffisantes pour uniformiser le remblai et également pour faciliter le transport des matériaux. Le compactage des couches subséquentes se fait suivant les normes établies pour la construction d'un remblai traditionnel, et ce, jusqu'au niveau de la ligne de sous-fondation (voir l'article « Remblais de sol » du [chapitre 11 du Cahier des charges et devis généraux](#)). Par la suite, le remblai est complété sans compactage jusqu'au niveau supérieur de la surcharge, sauf si les fondations sont placées immédiatement.

Après une consolidation suffisante, la surcharge et l'épaisseur correspondant aux fondations sont enlevées ([section 6.5.5](#)) et la nouvelle surface est recompaquée selon les normes établies pour une construction traditionnelle.

Pour la majeure partie des cas de construction sur sols organiques, un compacteur avec vibration peut être utilisé, pourvu que sa masse totale n'excède pas 10 000 kg. Cependant, dans le cas où la résistance au cisaillement des sols organiques ou de la couche sous-jacente est peu élevée, il y aurait lieu de prévoir l'utilisation d'un compacteur statique dont la masse doit être inférieure à 16 000 kg.

7.7.4 Stabilité du remblai et amorce de rupture

Pour assurer la stabilité du remblai pendant toute la période de construction, les pentes ne doivent jamais être plus abruptes que 1V:2H. Si l'analyse de la stabilité réalisée lors de l'étude théorique a révélé la nécessité de pentes plus douces ou de contrepoids, ceux-ci doivent être aménagés au fur et à mesure de la construction du remblai.

La formation d'un bourrelet au front d'avancement du remblai est normalement le signe d'une amorce de rupture. Dans ce cas, il faut immédiatement diminuer l'épaisseur de la couche pour permettre le franchissement de celui-ci. Une technique qui facilite le franchissement du bourrelet consiste à remblayer transversalement à la route, au droit de celui-ci, lorsque la situation le permet, comme lorsque le bourrelet ne couvre pas tout le front d'avancement du remblai ou lorsque le remblai est très large.

7.8 Construction hivernale

La construction d'un remblai sur une tourbière en période hivernale n'est autorisée que pour la mise en place du coussin initial, pourvu que l'épaisseur de la neige et de la glace recouvrant le sol soit inférieure à 150 mm, ce qui, dans certains cas, peut s'avérer très avantageux. Le matériau granulaire déposé sur la tourbière ne doit en aucun cas contenir des amas de neige ou des blocs de glace.

La pose de la première couche en période hivernale permet au dépôt organique de bénéficier d'une période d'attente plus longue avant la pose des couches subséquentes, ce qui entraîne une dissipation plus complète des pressions interstitielles et, par conséquent, une plus grande consolidation des sols organiques. Une plus grande dissipation des pressions interstitielles permet également, lors de la reprise des travaux au printemps suivant, de procéder à la pose plus rapide de couches subséquentes.

Dans les régions situées plus au nord, les sols organiques de surface de certaines tourbières peuvent geler jusqu'à une profondeur variant de 200 à 700 mm. La présence d'une couche organique gelée a comme avantage de permettre une meilleure répartition du taux initial de consolidation, réduisant ainsi au minimum le fluage latéral au pourtour du remblai ainsi que la possibilité de ruptures, phénomènes qui se produisent surtout lors de la pose du coussin initial.

De plus, la surface gelée de la tourbière forme une couche suffisamment rigide pour supporter l'outillage de construction. Cela permet d'augmenter la masse maximale permise des camions chargés et de réduire appréciablement les coûts de réalisation. En outre, cet horizon de sols organiques gelés a comme effet de répartir le poids du remblai et de l'outillage de construction sur une plus grande surface et d'éviter ainsi un poinçonnement des zones plus faibles au moment de l'application de la charge.

Cependant, la poursuite de la construction ne peut se faire tant que la neige ou la glace sous la couche initiale ne sont pas complètement fondues, ce qui est un inconvénient important de la mise en place du coussin initial en période hivernale. En effet, lors de la reprise des travaux au printemps suivant, le dégel du remblai et des sols organiques sous-jacents doit être complet avant de procéder à la pose de couches additionnelles. En raison des conditions climatiques en milieu nordique et du fait que les sols organiques sont un matériau isolant, le dégel de la couche organique gelée sous le remblai se fait plus lentement que le dégel des sols environnants, ce qui peut retarder de quelques semaines la reprise des travaux de chargement. Dans le but de suivre l'évolution du dégel et pour s'assurer qu'il n'y a plus de gel dans le remblai et la couche organique sous-jacente, des gélomètres peuvent être installés avant le début de la construction.

Il est également important de mentionner qu'il existe une relation étroite entre la durée du dégel et l'épaisseur du remblai. Par conséquent, il est très important que l'épaisseur de la couche initiale n'excède pas 900 mm. En effet, une épaisseur accrue a pour conséquence de retarder de quelques semaines le dégel complet du dépôt organique.

8. INSTRUMENTATION ET SUIVI EN COURS DE CONSTRUCTION

La construction avec la méthode de consolidation exige un contrôle étroit pendant toute la durée de la construction, particulièrement lorsqu'une surcharge est mise en place. Une erreur sur le plan de la réalisation peut entraîner des coûts de réparation très élevés pendant la construction et également nécessiter un entretien plus fréquent de la chaussée après l'ouverture de la route.

Une instrumentation appropriée doit être installée avant le début des travaux et constamment consultée en cours de réalisation. Ces instruments de contrôle permettront de vérifier l'épaisseur des couches, de mesurer le tassement du sol, de suivre l'évolution des pressions interstitielles générées par la construction du remblai et d'évaluer l'ampleur du fluage latéral du sol organique occasionné par la mise en place du remblai. Leur installation et leur suivi doivent être faits soigneusement pour avoir des données fiables ([section 7.6](#)).

Les quatre instruments normalement utilisés sont les suivants :

- indicateur de couche;
- indicateur de tassement;
- piézomètre;
- indicateur de déplacement latéral.

Le chapitre suivant présente une description détaillée de chacun de ces instruments, de leur installation, de leur utilité ainsi que de la fréquence des relevés et de l'interprétation de ces lectures. Le tableau 3 présente les renseignements généraux sur le programme d'instrumentation pour la construction sur sol organique. Le dessin normalisé 015 du

chapitre sur le terrassement dans la collection *Normes – Ouvrages routier* du Ministère ([tome II, chapitre 1](#)) montre les normes de fabrication et d'installation pour les indicateurs de tassement, de couche et de déplacement latéral.

8.1 Indicateur de couche

L'indicateur de couche est un instrument de contrôle qui permet de s'assurer que l'épaisseur de la couche initiale n'excède pas 900 mm. La fabrication de cet instrument est très simple, comme l'illustre le [dessin normalisé 015](#).

8.1.1 Installation

Cet instrument est installé directement à la surface du terrain naturel et une marque est faite à une hauteur de 900 mm au-dessus de cette surface. Il doit demeurer en place après la pose du coussin initial et sa pièce de bois verticale devrait excéder le remblai d'environ 200 mm. Cette extrémité est peinte d'une couleur voyante pour faciliter son repérage.

La fréquence d'utilisation de l'indicateur de couche est fonction de la variation plus ou moins importante de l'épaisseur de la couche organique ainsi que du tassement probable. Toutefois, l'intervalle maximal recommandé est de 10 m dans les deux axes du remblai. De fabrication relativement simple, cet instrument s'avère particulièrement utile dans les secteurs où de fortes variations de l'épaisseur du dépôt sont observées.

8.2 Indicateur de tassement

L'indicateur (ou plaque) de tassement est un instrument utilisé pour suivre le tassement du remblai pendant toute la durée de la construction. Ses composants sont présentés au [dessin normalisé 015](#). Des profilomètres peuvent également être mis en place afin de suivre les tassements sur une section transversale continue sous le remblai projeté.

8.2.1 Installation

Chaque indicateur de tassement est positionné en plan et en élévation lors de son installation. Pour obtenir des mesures précises, un coussin de sable de 100 mm d'épaisseur est placé directement sur le terrain naturel afin d'égaliser la surface et de placer la plate-forme au niveau. Des rallonges d'une longueur de 1200 mm sont ajoutées au fur et à mesure que la construction du remblai progresse. Les piézomètres sont généralement installés à l'intérieur de ce tuyau.

Tableau 3. Renseignements généraux sur le programme d'instrumentation pour la construction sur sol organique.

	Indicateur de couche	Indicateur de tassement	Piézomètre	Indicateur de déplacement latéral
Fonction	Contrôle de l'épaisseur du coussin initial de 900 mm	Suivi des tassements	Suivi des pressions d'eau et de la consolidation des couches compressibles	Suivi du fluage latéral du sol naturel adjacent au remblai
Emplacement (variable selon la nature des projets)	Intervalle maximal de 10 m dans les deux axes du remblai	Aux chaînages et aux décalages indiqués dans l'étude Situé par arpentage (x, y, z)	Sous les indicateurs de tassement indiqués dans l'étude	À 6 m de la base du futur remblai, aux chaînages indiqués dans l'étude Le clou planté sur l'indicateur est positionné par arpentage (x, y, z)
Profondeur	Sur la surface du terrain naturel Avec une marque à 900 mm au-dessus du sol	Au-dessus du terrain naturel, sur un coussin de sable de 100 mm	Centre de la couche organique la plus molle ou Centre ou tiers inférieur du dépôt de sol organique	Partie inférieure de la couche organique la plus molle (min. 1 m, max. 2/3 du dépôt) Doit dépasser d'environ 600 mm la surface du terrain naturel
Durée	Tant que les matériaux du coussin initial n'ont pas été déversés en avant de l'indication	Toute la durée des travaux de construction	Toute la durée des travaux de construction	Toute la durée des travaux de construction
Lectures (emplacement, type, etc.)	S. O.	<u>Avant le début des travaux :</u> Terrain naturel Plate-forme Bout du tuyau <u>Pendant et après la construction :</u> Remblai près du tuyau Bout du tuyau	Niveau d'eau dans chaque piézomètre	<u>Avant le début des travaux :</u> Niveau du clou sur l'indicateur <u>Pendant et après la construction :</u> Déplacement vertical du clou Déplacement horizontal du clou
Fréquence des lectures	S. O.	1 fois par jour durant la pose de chaque couche 2 fois par semaine entre la pose de ces couches 1 fois par semaine lorsque la surcharge est terminée (1 fois par mois en hiver)	<u>Pendant la journée de la pose de la couche initiale :</u> Au moins 4 lectures dans chaque piézomètre <u>Par la suite :</u> 1 fois par jour durant la pose de chaque couche 2 fois par semaine entre la pose de ces couches 1 fois par semaine lorsque la surcharge est terminée (1 fois par mois en hiver)	1 fois par jour durant la pose de chaque couche 2 fois par semaine entre la pose de ces couches 1 fois par semaine lorsque la surcharge est terminée (1 fois par mois en hiver)

Le profilomètre est mis en place sur un coussin de sable dans une tranchée aménagée à la surface de la tourbière. Comme pour les instruments de base, l'installation est réalisée ou supervisée par le Ministère ou son représentant.

8.2.2 Lectures

Avant le début des travaux, les niveaux suivants doivent être relevés :

- terrain près de l'indicateur de tassement;
- surface de la plate-forme;
- bout du tuyau de l'indicateur de tassement.

Pendant et après la construction, les niveaux suivants doivent être relevés :

- surface du remblai près du tuyau;
- bout du tuyau de l'indicateur de tassement.

Les lectures sont prises et enregistrées une fois par jour durant la pose de chacune des couches. Pendant les périodes d'attente prévues entre la pose de ces couches, les lectures doivent être relevées deux fois par semaine. Une fois la surcharge terminée, les lectures sont enregistrées une fois par semaine jusqu'à la fin de la période de consolidation primaire. Si la construction du remblai est interrompue durant la période hivernale, un relevé par mois est recommandé jusqu'au printemps suivant.

Les lectures ainsi prises sont reportées dès que possible au « Tableau des lectures pour contrôle de construction sur sol organique, plaque de tassement et piézomètre » (tableau 4 en annexe), à partir duquel la courbe du tassement en fonction du temps et de la hauteur du remblai sera tracée sur le « Graphique pour contrôle de construction sur sol organique, 0 à 100 jours » (figure 4 en annexe).

8.2.3 Cote de sécurité

La cote critique pour les indicateurs de tassement est fixée à 40 % de l'épaisseur posée. Dans certains cas, un tassement excédant 40 % pourrait ne pas être considéré comme critique. Il convient quand même de procéder à une vérification du comportement des autres instruments de contrôle installés au même chaînage afin de vérifier s'il y a amorce de rupture.

8.3 Piézomètre

Le piézomètre permet de connaître en tout temps les conditions hydrauliques au sein des couches compressibles, de suivre les variations de la pression interstitielle en cours de consolidation, de déterminer le moment propice à la pose d'une couche additionnelle

et de déceler, à partir d'accroissements rapides de la pression interstitielle, des amorces de rupture. Le piézomètre le plus couramment utilisé pour la construction d'un remblai sur une tourbière est un piézomètre ouvert de type Casagrande.

Ce type de piézomètre est constitué d'un tuyau dont le diamètre intérieur est de 10 mm et dont l'une des extrémités est perforée et recouverte d'un plastique poreux jusqu'à une hauteur de 450 mm. La partie trouée est soudée à une pointe de métal visant à faciliter son enfoncement à la profondeur désirée.

Il faut également envisager la pose d'un piézomètre additionnel pour mesurer le niveau d'eau dans le remblai. Celui-ci peut être un autre tuyau attaché au tuyau du piézomètre installé dans le terrain naturel.

Un piézomètre de type pneumatique peut également être utilisé au lieu du piézomètre ouvert.

8.3.1 Installation

Les piézomètres sont installés directement sous les indicateurs de tassement, au centre la couche la plus molle de sol organique déterminée à l'aide des essais scissométriques effectués lors de l'étude détaillée du sol. Si aucune donnée de résistance n'est disponible, les piézomètres sont installés au centre ou au tiers inférieur du dépôt de sol organique.

Pour faciliter son installation, le piézomètre est inséré à l'intérieur d'un tube de métal, dont le diamètre intérieur est de 38 mm, qui vient s'appuyer sur la pointe de métal soudée à l'extrémité du piézomètre. Dans le but de former un bouchon étanche autour du tuyau du piézomètre, des billes de bentonite sont insérées à l'intérieur du tuyau de 38 mm de façon à former une colonne d'une hauteur minimale de 300 mm. Il ne reste plus qu'à enfoncer le tuyau jusqu'au niveau désiré et à retirer rapidement le tuyau-enveloppe.

L'utilisation d'une solution antigél dans les piézomètres peut s'avérer nécessaire pour effectuer le suivi si les travaux sont faits en début de saison froide.

8.3.2 Lectures

Les lectures enregistrées sur ce type de piézomètre sont relevées à l'aide d'un ohmmètre. La procédure à suivre est relativement simple. Il s'agit d'insérer le fil de l'ohmmètre à l'intérieur du tuyau de 10 mm jusqu'au niveau de l'eau, de le retirer et de mesurer la longueur exacte du tuyau sec. Étant donné que ces lectures sont référencées par rapport à l'élévation du bout du tuyau de l'indicateur de tassement, il faut soustraire la longueur du piézomètre excédant le tuyau de l'indicateur de tassement.

Avant le début des travaux de chargement, le niveau exact de l'eau dans chacun des piézomètres est relevé. Pendant la journée où le chargement de la couche initiale rencontre un piézomètre, au moins quatre lectures sont prises de façon à bien enregistrer le niveau maximal atteint par l'eau dans le piézomètre. Par la suite, les lectures sont prises au même rythme que celui établi pour les indicateurs de tassement.

Les lectures ainsi prises sont également reportées au « Tableau des lectures pour contrôle de construction sur sol organique, plaque de tassement et piézomètre » (tableau 4 en annexe), à partir duquel les courbes de la pression interstitielle et de la pression totale due au remblai en fonction du temps seront tracées dans la partie inférieure du « Graphique pour contrôle de construction sur sol organique, 0 à 100 jours » (figure 4 en annexe).

8.3.3 Cote de sécurité

La première cote de sécurité est le niveau maximal atteint par la pression interstitielle durant la pose de la couche initiale. Ce niveau ne devrait théoriquement pas être dépassé en cours de construction.

Les piézomètres servent également à déterminer la durée des périodes d'attente entre la pose de chacune des couches. Généralement, la pose d'une couche additionnelle ne doit pas être autorisée avant que le taux de consolidation du dépôt organique n'ait atteint environ 70 %. Il faut donc attendre que le niveau de la pression interstitielle soit redescendu à environ 30 % de la pression totale due au remblai.

Dans le cas où les pressions interstitielles se dissiperaient excessivement lentement et que les lectures enregistrées sur les autres instruments de contrôle n'indiqueraient pas la présence de problèmes imminents, la pression maximale tolérable avant la pose d'une couche additionnelle pourra être établie par la méthode de la pression effective. Cette méthode permet généralement de diminuer les périodes d'attente excessives entre la pose des couches. En suivant cette méthode, la pose d'une couche additionnelle pourra être autorisée lorsque la pression interstitielle enregistrée (Δu) dans les piézomètres aura atteint 50 % de la pression effective. Le calcul de la pression effective s'effectue selon la formule suivante :

$$P_e = H_r \cdot \rho_r + H'_r (\rho_r - \rho_w)$$

où : P_e : pression effective;
 H_r : hauteur du remblai non immergé;
 H'_r : hauteur du remblai immergé (tassement);
 ρ_r : masse volumique du matériau du remblai (kg/m^3);
 ρ_w : masse volumique de l'eau (kg/m^3).

8.4 Indicateur de déplacement latéral

L'indicateur de déplacement latéral permet de mesurer le fluage latéral du sol naturel adjacent au remblai. Ses composants sont présentés au [dessin normalisé 015](#). Un fluage latéral excessif indique une rupture possible du sol organique.

8.4.1 Installation

Les indicateurs de déplacement latéral sont généralement installés avant le début des travaux à une distance de 6 m de la base du futur remblai. La profondeur d'enfoncement est déterminée en fonction de l'épaisseur de la couche organique. L'indicateur doit être enfoncé jusqu'au niveau inférieur de la couche la plus molle. Toutefois, il est assez rare qu'il soit enfoncé à une profondeur de plus des 2/3 de l'épaisseur de la couche organique et que sa longueur totale dépasse 3 m. L'indicateur doit excéder la surface du terrain naturel d'environ 600 mm. Si la croûte fibreuse de surface est très résistante, les racines peuvent être coupées à l'aide d'une tarière manuelle et, par la suite, l'indicateur est enfoncé jusqu'à la profondeur désirée. Sur le dessus de l'indicateur, un clou servant de référence est enfoncé pour mesurer le déplacement vertical et horizontal de l'indicateur.

L'installation des indicateurs de déplacement latéral se fait à l'aide d'un instrument d'arpentage approprié, afin de bien les aligner, et selon la marche à suivre suivante :

1. Placer les indicateurs de déplacement latéral à 50 m avant le début et après la fin du remblai à construire sur la tourbière.
2. Poser deux points de référence permanents, à 50 et à 100 m, derrière chaque position initiale des indicateurs de déplacement latéral.
3. Marquer les points de repère afin qu'ils ne soient pas endommagés ou déplacés pendant la période de construction.
4. Aligner les indicateurs de déplacement latéral et les enfoncer à la profondeur requise.
5. Enfoncer les clous dans l'alignement donné par l'instrument d'arpentage.

8.4.2 Lectures

Pour chaque indicateur, il faut relever le déplacement vertical et horizontal du clou par rapport à sa position initiale. Une valeur négative (-) est attribuée pour un déplacement vertical vers le haut et une valeur positive (+) pour un déplacement vers le bas. Pour le déplacement horizontal, il est considéré comme négatif (-) s'il s'effectue vers la ligne du centre et comme positif (+) dans le cas contraire. Ces lectures sont relevées au même rythme que celui établi pour les indicateurs de tassement.

Les lectures ainsi prises sont reportées au « Tableau des lectures pour contrôle de construction sur sol organique, indicateur de déplacement latéral » (tableau 5 en annexe), qui permet de suivre, au jour le jour, le déplacement vertical et horizontal de chacun des indicateurs. Les courbes représentant le déplacement vertical et horizontal en fonction du temps en jours sont ensuite tracées sur le « Graphique pour contrôle de construction sur sol organique, indicateur de déplacement latéral » (figure 5 en annexe).

8.4.3 Cote de sécurité

La cote considérée comme critique pour un indicateur situé à une distance de 6 m de la base du remblai est établie à 200 mm, tant pour le déplacement horizontal que pour le déplacement vertical du clou. Pour un indicateur installé à une distance de 3 m de la base du remblai, la cote critique serait fixée à 300 mm. Advenant que les indicateurs doivent être installés à une distance de 9 m, la cote maximale à ne pas dépasser ne serait que de 120 mm.

8.5 Arrêt des travaux

Si, en cours de construction, les cotes de sécurité sont dépassées, il faut arrêter les travaux de chargement dans la zone concernée et avertir l'ingénieur responsable du chantier. S'il y a rupture ou amorce de rupture, il faut également suspendre la circulation lourde sur toute l'étendue de la section concernée. Les travaux de chargement ne recommenceront qu'après l'autorisation de l'ingénieur responsable des travaux.

9. POSTCONSTRUCTION

9.1 Tassements observés sur la chaussée

Dans les sols organiques, il est normal d'observer des tassements secondaires importants qui se produisent à long terme; c'est pourquoi la consolidation par surcharge est choisie lorsque les tassements anticipés dans les sols organiques laissés en place sont jugés problématiques pour le futur comportement de la chaussée, particulièrement pour un remblai construit au-dessus de cuvettes profondes de sols organiques où des tassements différentiels importants peuvent se produire.

Les tassements qui sont générés en cours de construction sont estimés à 80 % des tassements totaux anticipés. L'application d'une surcharge vise à surconsolider les sols organiques en cours de construction afin de réduire au minimum les 20 % de tassements résiduels avant le déblai de la surcharge et l'ouverture de la route. Moins la surcharge est importante, moins les sols organiques sont surconsolidés et plus les tassements secondaires sont importants et se manifesteront rapidement après la construction.

9.2 Mauvaise réalisation des travaux

Des tassements différentiels ont également déjà été observés au droit de transitions entre des zones où des techniques différentes de construction sur sols organiques ont été utilisées, particulièrement lorsque des sols organiques sont laissés en place à la suite d'une excavation partielle ou d'un déplacement incomplet.

Le contrôle en cours de construction est essentiel afin de s'assurer, le cas échéant, que les sols organiques sont complètement excavés ou déplacés, ou que les pentes de transition dans les sols organiques sont bien réalisées.

À la limite d'une zone traitée à l'aide de la consolidation par surcharge, la pente longitudinale de la surcharge est importante lorsque la zone voisine présente aussi des sols organiques qui seront consolidés, que ce soit par un remblai traditionnel ou par consolidation sans surcharge. Cette pente doit être exécutée selon les recommandations afin d'améliorer le comportement de la future chaussée au droit de la transition entre les deux méthodes de construction.

9.3 Correction de la chaussée

Lorsque les déformations dues aux tassements différentiels doivent être corrigées, généralement plusieurs années après l'ouverture de la route, la période de consolidation primaire du sol organique est terminée et une bonne partie des déformations est probablement due au tassement secondaire, qui ne s'arrête jamais, mais qui diminue avec le temps.

Les solutions normalement envisagées sont la remise à niveau de la route soit en comblant les dépressions, soit en reprofilant celle-ci à partir du niveau des points bas. La première solution est moins coûteuse, mais elle provoquera de nouveaux tassements primaires, car du remblai est ajouté. Cependant, les déformations que ces ajouts causent sont normalement beaucoup moins importantes que celles observées avant la correction. La deuxième solution garantit un meilleur comportement, mais elle peut nécessiter de refaire les fondations de la route si les bosses à aplanir sont trop importantes. Une solution mixte peut aussi être planifiée, soit pulvériser l'enrobé et reprofiler la route avec les matériaux en place.

9.4 Modification du remblai

Toute modification à la géométrie d'un remblai construit sur une tourbière depuis plusieurs années ou aux conditions hydrauliques engendrera des tassements différentiels et un mauvais comportement de la chaussée.

L'ajout de poids sur un remblai existant engendrera des tassements dans les sols organiques, qu'ils soient ou non consolidés. S'il y a un rehaussement du profil, la

consolidation des sols organiques stabilisés sera réactivée et des tassements se produiront sous le remblai. Leur ampleur sera toutefois moindre que dans les sols organiques moins consolidés, sous les pentes latérales, ou non consolidés, au-delà du pied du remblai. L'élargissement et l'adoucissement de pentes occasionneront donc des tassements importants de part et d'autre de la route. La perte de support latéral de la structure de la chaussée provoquera une rotation des épaules du remblai et il y aura apparition d'affaissements et de fissures longitudinales de tension sur l'accotement ou même sur la chaussée.

L'aménagement de fossés directement au pied du remblai construit sur une tourbière stabilisée est également proscrit. Abaisser le niveau d'eau dans le terrain naturel équivaut à augmenter la contrainte dans les sols organiques, donc à réactiver la consolidation du dépôt.

Si des modifications au remblai routier ou aux conditions hydrauliques sont absolument nécessaires, une étude géotechnique pour la construction sur une tourbière doit être réalisée. Pour un élargissement ou un adoucissement des pentes latérales, l'excavation ou la consolidation accélérée des sols organiques au droit de l'ajout de remblai peuvent être envisagées selon les caractéristiques et l'épaisseur de la couche de sols organiques ([section 6](#)). Pour le drainage au pied du remblai, la dimension du fossé et sa distance par rapport au pied du remblai doivent être précisées ([section 73.2](#)).

Pour des modifications majeures à la géométrie d'un remblai construit sur une tourbière stabilisée, un chemin de contournement doit être utilisé ou aménagé afin de réaliser les travaux de construction, comme pour un nouveau remblai aménagé sur une tourbière non consolidée.

10. CONCLUSION

La construction de remblais sur sols organiques exige beaucoup de précautions. Celles-ci commencent dès l'étape des études, où il faut éviter de circuler avec une pelle hydraulique, qui est une machine souvent utilisée pour faire les puits d'exploration lors de l'étude pédologique.

À l'étape du déboisement, des précautions sont nécessaires pour éviter de faire des ornières pouvant compromettre le bon comportement de la future route.

Au début de la construction, un bon contrôle de la pose de la première couche est une étape cruciale pour réussir une bonne construction. Un bon suivi de l'instrumentation s'impose également tout au long de la construction.

Finalement, il faut mentionner que les tourbières avec des lacs assez profonds sont plus problématiques. Même avec un bon contrôle lors de la construction, le comportement de la route est généralement mauvais, car un remblai construit sur ce

type de tourbières sera d'épaisseur variable et occasionnera des tassements différentiels à long terme.

Pour terminer, le maintien de la surcharge en place le plus longtemps possible est un gage de meilleur comportement de la route dans l'avenir.

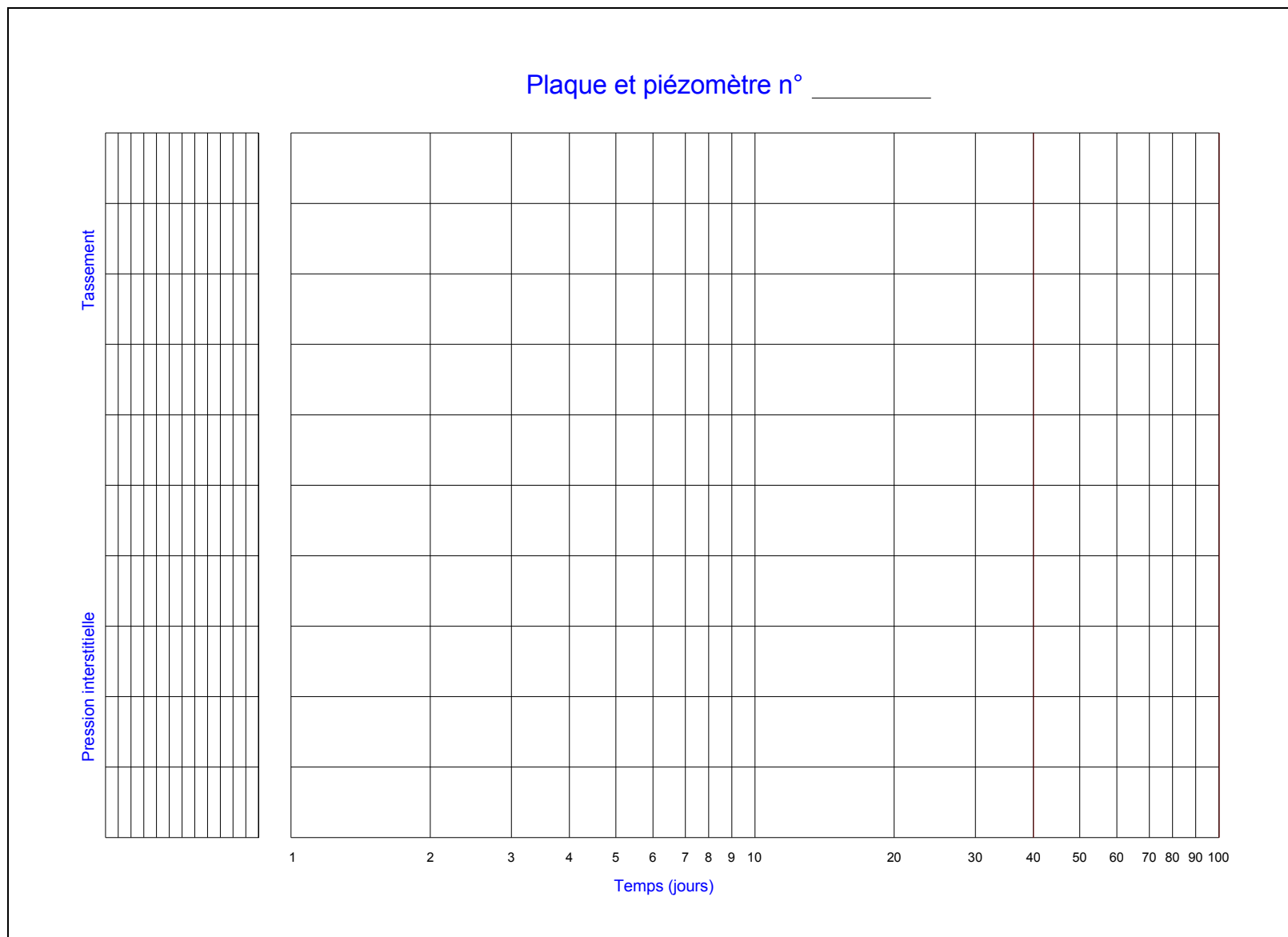


Figure 4. Graphique pour contrôle de construction sur sol organique, 0 à 100 jours.

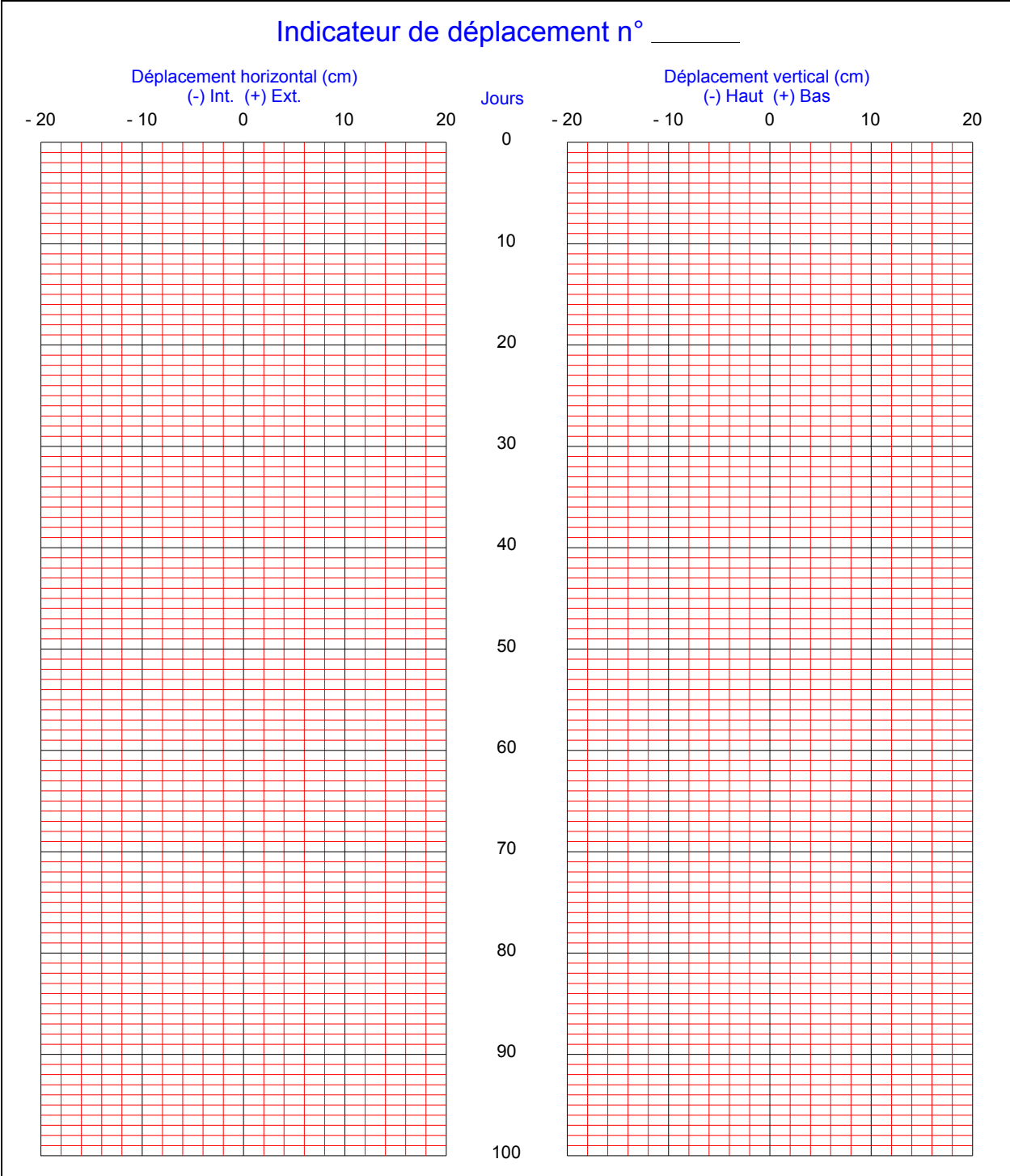


Figure 5. Graphique pour contrôle de construction sur sol organique, indicateur de déplacement latéral.

Tableau 4. Tableau des lectures pour contrôle de construction sur sol organique, plaque de tassement et piézomètre.

Projet :

Route :

Chaînage :

Épaisseur initiale de sols organiques :

Tableau des lectures
contrôle de construction sur sol organique

No plaque de tassement et piézomètre :

Date :

Élev. terrain naturel :

Préparé par :

Lectures initiales (o)

Date	Heure	Nombre de jours depuis le début	Ao:		Do:		Nombre de jours par chargement	Ho:		Io:		Variation totale de pression d'eau à la pointe du piézo (Δh de l'eau + tassement) (m)	Critère de tassement (m)	Critère de pression d'eau (m d'eau)	Numéro de la couche	Remarques	
			A	B	C	D		E	F	G	H						I
			Élévation sommet tuyau de la plaque (m)	Longueur des extensions (m)	Longueur totale du tuyau de la plaque (m) [Ao-Do+B]	Élévation de la plaque (m) [A-C]	Élévation du remblai (m)	Épaisseur de remblai (m) [E-D]	Tassement du terrain naturel (m) [Do-D]	Longueur du piézomètre sec (m)	Δh sommet piézomètre/sommet tuyau de la plaque (m) [A-H+I]	Niveau de l'eau (m) [J-Io]	Variation (Δh) du niveau d'eau mesuré [J-Jo]	[K+G]	[40 % x F]	[30 % x K]	

Tableau 5. Tableau des lectures pour contrôle de construction sur sol organique, indicateur de déplacement latéral.

Tableau des lectures
contrôle de construction sur sol organique

Projet : _____

Route : _____

Chaînage : _____

Voie : _____ Côté : _____

Indicateur de déplacement latéral n° _____

Date et heure	Nombre de jours	Épaisseur du remblai	Élévation du clou	Déplacement horizontal	Déplacement vertical	Remarques
				(+) Extérieur (-) Intérieur	(+) Bas (-) Haut	