

CANQ
TR
1481
36
Broch.

Recherches Transport

36

Mesure en laboratoire
de la perméabilité
d'un sol fin remanié
et densifié à un degré
Proctor mesurable

CANQ
TR
GE
LC
120
36



Transports
Québec

N° de codification: RTQ-86-15

Auteurs du rapport:

Paul Flon, ingénieur
Youssef Sabeh, étudiant stagiaire
Laboratoire central
Direction générale du génie

Étude produite par le ministère
des Transports du Québec.

Pour obtenir un exemplaire du rapport:

- Direction des communications
Jacques De Rome, directeur.

Secrétariat de la rédaction:
700, boul. Saint-Cyrille Est
Place Hauteville, 18^e étage
Québec (QC)
G1R 5H1 (418) 643-7052

Pour consultation:

- Centre de documentation
700, boul. Saint-Cyrille Est
Place Hauteville, 24^e étage
Québec (QC)
G1R 5H1 (418) 643-3578
- Centre de documentation
200, rue Dorchester Sud
7^e étage
Québec (QC)
G1K 5Z1 (418) 643-2256
- Centre de documentation
1410, rue Stanley, 8^e étage
Montréal (QC)
H3A 1P9 (514) 873-5467

Dépôt légal: 4^e trimestre 1986
Bibliothèque nationale du Québec
ISSN 0228-5541
Composition: Composition Orléans inc.

«RECHERCHES TRANSPORT»

Dans la foulée du livre blanc sur la politique québécoise de la recherche scientifique, «Les voies de l'avenir», rapport de conjoncture sur la recherche-développement en transport au Québec, a fait ressortir l'urgence de consacrer des efforts particuliers à la diffusion des résultats de recherche.

«Recherches Transport» se veut une réponse simple et concise à cet objectif d'accessibilité à l'information scientifique.

Ce document technique s'adresse à toute personne, entreprise ou institution dont les champs d'intérêt concernent les disciplines reliées au transport. L'auteur de la recherche présente lui-même un résumé clair de son travail.

«Recherches Transport» est publié par la Direction des communications du ministère des Transports pour le compte du Comité ministériel de la recherche.

Comité ministériel de la recherche
Pierre La Fontaine, président.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
700, BOUL. RENÉ-LÉVESQUE EST.
21^e ÉTAGE
QUÉBEC (QUÉBEC) - CANADA
G1R 5H1

CANQ
TR
GE
LC
/20
36

Mesure en laboratoire de la perméabilité d'un sol fin remanié et densifié à un degré Proctor mesurable

1. Introduction

La perméabilité d'un échantillon argileux intact se détermine de manière fiable en laboratoire, à l'aide d'une cellule triaxiale ou en cours de l'essai oedométrique. Celle d'un échantillon remanié peut se mesurer aussi par l'essai triaxial, mais la procédure manuelle de confection du spécimen permet plus difficilement de contrôler le degré de compactage ou de relier la consolidation triaxiale à la densité Proctor. Le moule Proctor normal et le moule modifié ont été adaptés à la mesure de la perméabilité des sols pulvérulents; différents niveaux de compactage peuvent être obtenus, selon l'énergie fournie.

Le moule Proctor (normal ou modifié) est inadéquat pour la mesure de la perméabilité d'un sol fin, car la procédure est insuffisamment précise, et la grosseur de l'échantillon rend sa saturation trop lente.

Le Laboratoire central a récemment mis au point un système de mesure de la perméabilité à l'aide d'un mini-moule Proctor, d'un échantillon argileux de 7,15 cm de hauteur et de 3,34 cm de diamètre, remanié et densifié de nouveau à une teneur en eau et un niveau d'énergie Proctor que l'on peut choisir.

Cette note présente l'appareillage utilisé, décrit la procédure et donne quelques résultats d'essais.

2. Appareillage

L'appareil utilisé pour le compactage de l'échantillon est schématisé à la figure 1.

Après compactage, on extrait le mini-moule du bâti, on applique papiers filtres et pierres poreuses aux extrémités, après avoir dressé les faces de l'échantillon, puis on l'installe entre une base et une tête prévues pour la mesure de la perméabilité (figure 2). La base est reliée par un conduit en tygon à une burette de Mariotte graduée de 1000 cm³, qui permet d'appliquer la charge hydraulique avec une pression constante (figure 2 a)). L'écoulement peut aussi être contrôlé par une différence de pressions interstitielles (figure 2 b)). L'eau utilisée doit être désaérée.

3. Principe et procédure

3.1 COMPACTAGE

L'énergie Proctor est proportionnelle au poids du marteau, à sa hauteur de chute, au nombre des couches et des coups par couche; elle est inversement proportionnelle au volume du moule. Quand le pourcentage d'énergie Proctor ou le degré de compactage est choisi, on définit la position de chute du marteau pour chaque couche, à l'aide de la formule suivante:

$$h_i = \frac{7,5 i}{N} + h_o$$

ou

i = i^e couche

N = nombre de couches

(5 pour l'essai Proctor modifié,
3 pour l'essai normal);

h_o = hauteur initiale

(12,5 cm pour l'essai modifié,
4,6 cm pour l'essai normal);

h_i = distance en cm, avant de laisser le marteau en chute libre (figure 1), entre la graduation 0, près du sommet du piston, et le collier de serrage qui vient buter sur le côté inférieur de la plaque d'acier supérieure servant de guide.

Le collier de serrage est donc bloqué sur les graduations imprimées sur le piston, au niveau calculé par l'équation ci-dessus, et garantissant une hauteur de chute de 12,5 cm (pour 100% du Proctor modifié), quelle que soit la couche dont on est en train de faire le compactage; on admet que chaque couche a une épaisseur de 1,5 cm, dans le cas de l'essai modifié (5 couches).

Le tableau ci-dessous définit la position du marteau en donnant le niveau où doit être serré le collier sur le piston gradué en cm, dans le cas de l'essai Proctor modifié, pour 100%, 50%, 25% et 5% de l'énergie. Comme on a choisi d'appliquer ce pourcentage d'énergie sur la hauteur de chute, il suffit d'affecter du même pourcentage la hauteur h_0 dans la formule précédente, pour trouver h_i en cm.

i° couche	100%	50%	25%	5%
1	14,0	7,75	4,625	2,125
2	15,5	9,25	6,125	3,625
3	17,0	10,75	7,625	5,125
4	18,5	12,25	9,125	6,625
5	20,0	13,75	10,625	8,125

La procédure est très voisine de celle de l'essai Proctor classique. Une feuille d'aluminium est posée sur la base du bâti avant d'installer le moule, afin de le décoller aisément et pour que la surface du sol soit nette; une mince couche de gelée de pétrole peut être appliquée sur la paroi intérieure du moule pour extraire plus facilement l'échantillon en fin d'essai. La quantité de sol est

choisie d'après le nombre de couches, selon l'expérience; l'opérateur doit s'arranger pour que la dernière couche soumise au compactage ne dépasse pas le bas du collet de plus de 3 mm, pour pouvoir ensuite dresser correctement la face de l'échantillon et ne pas trop affecter l'énergie de chute du marteau.

L'appareillage est placé de façon à ce que le marteau ne rebondisse pas. La chute du piston doit être complètement libre; la hauteur est ajustée à chaque couche; le marteau est tourné à chaque coup, selon le compteur indiqué sur la bague circulaire graduée (figure 1) fixée au sommet du piston, pour que le compactage soit uniforme. Le marteau est nettoyé régulièrement.

3.2 Perméabilité

Le mini-moule avec son échantillon est ensuite monté comme perméamètre avec une charge hydraulique constante généralement de deux ou trois mètres (figure 2 a)). Le volume d'eau qui entre à la base est mesuré dans le temps grâce à la burette graduée; l'eau qui sort peut être récupérée et mesurée. On peut prévoir (figure 2 b)) appliquer une contre-pression à la sortie, de façon à faciliter la pleine saturation de l'échantillon («pulvérisation», par la pression interstitielle, des bulles d'air qui sont ensuite entraînées par l'écoulement de l'eau). L'entrée et la sortie sont alors reliées à des burettes graduées mises sous pression (figure 2 b)). La courbe volume versus temps est tracée; la première partie incurvée correspond à la saturation de l'échantillon; la deuxième partie rectiligne permet de calculer le coefficient de perméabilité:

$$k = \frac{L}{Ah} \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

ou

L = longueur de l'échantillon = 7,15 cm;

A = section de l'échantillon = 8,76 cm²;

h = charge hydraulique;

ΔV = variation de volume;

Δt = variation de temps.

4. Résultats d'essais

Les tableaux 1 et 2 présentent des résultats d'essais comparatifs avec le moule Proctor, le mini-moule Proctor et le moule triaxial, pour différentes catégories d'échantillons: argile, argile + 9% de chaux, silt sableux, sable silteux + bentonite, sable + bentonite. Le tableau 1 permet de rapprocher le compactage et la perméabilité au gros moule et au mini-moule, tandis que le tableau 2 compare les coefficients de perméabilité obtenus au mini-moule et au triaxial. Ces données sont insuffisantes pour classer définitivement les performances du mini-moule; d'autres séries de mesures seront compilées.

Le tableau 1 montre que le compactage Proctor et la perméabilité au gros moule et au mini-moule sont très voisins, à l'énergie maximum (100% Proctor modifié), aussi bien pour l'argile que pour le silt sableux.

Le tableau 2 indique des différences plus grandes entre le mini-moule et le moule triaxial sur les échantillons de sable + bentonite. La raison provient sans

doute du niveau de consolidation qui n'est pas quantifié de la même façon au mini-moule (100% ou 25% de l'énergie Proctor) et au triaxial (densification manuelle dense ou lâche + consolidation triaxiale).

Le tableau 2 signale par ailleurs que l'ajout de bentonite semble proportionnellement plus efficace (pour imperméabiliser) à 5% de bentonite, qu'à 2%; à partir de 5% de bentonite, l'influence du pourcentage d'énergie ou de bentonite sur la perméabilité est faible.

5. Conclusion

Le Laboratoire central dispose d'un moyen fiable de mesure de la perméabilité d'un échantillon argileux, remanié puis densifié à un pourcentage choisi de l'énergie Proctor.

Cet essai trouve en particulier son application dans le domaine de l'environnement, du traitement et de la densification des sols fins, de la réhabilitation de certains matériaux d'infrastructure et de sous-fondation; il permet d'apprécier l'efficacité d'un sol argileux ou d'un mélange d'éléments fins employé comme bouchon, filtre, écran, support. D'autres séries de données doivent être compilées et interprétées et des comparaisons avec des mesures de perméabilité in situ devront être faites, pour améliorer la méthode.

Figure 1: Schéma de l'appareil de compactage

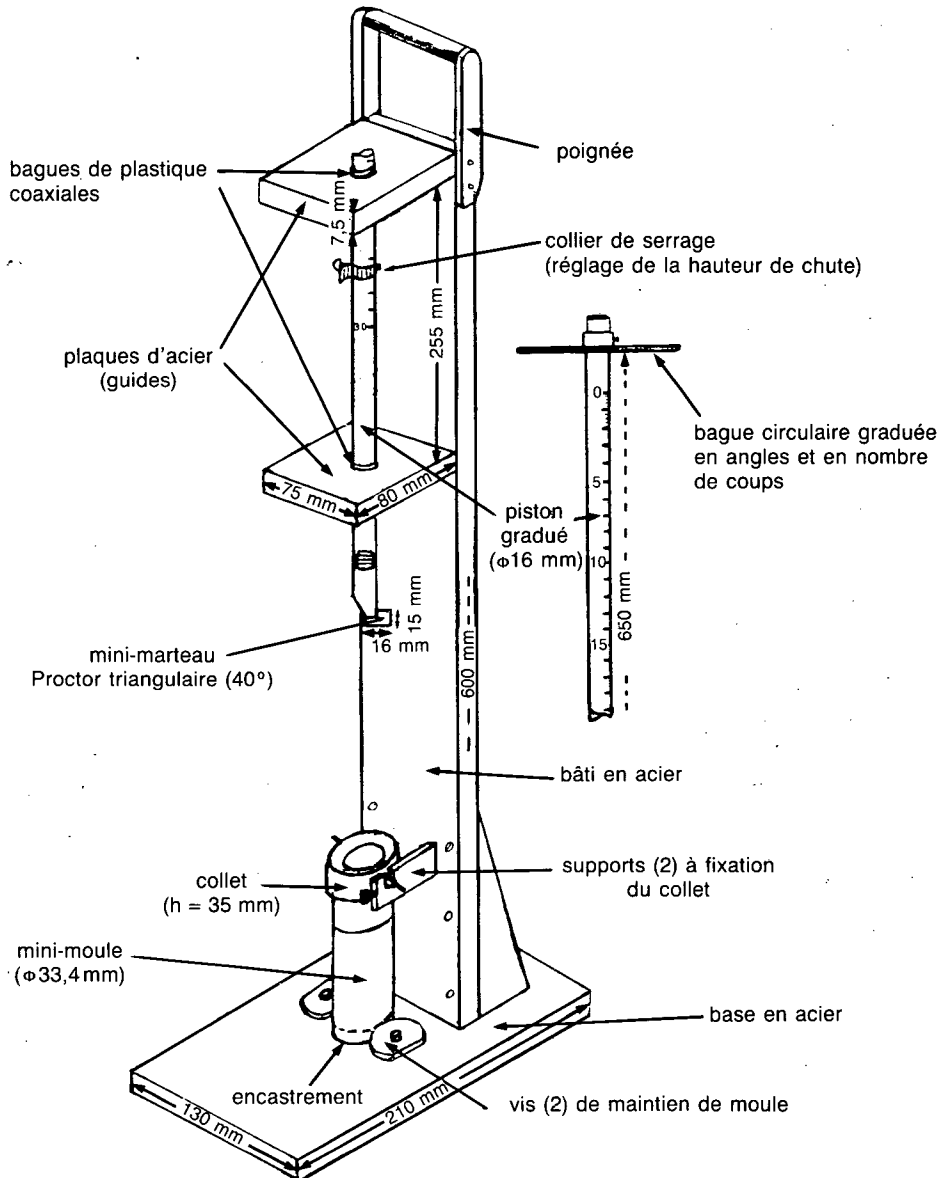


Figure 2: Principe de mesure de la perméabilité

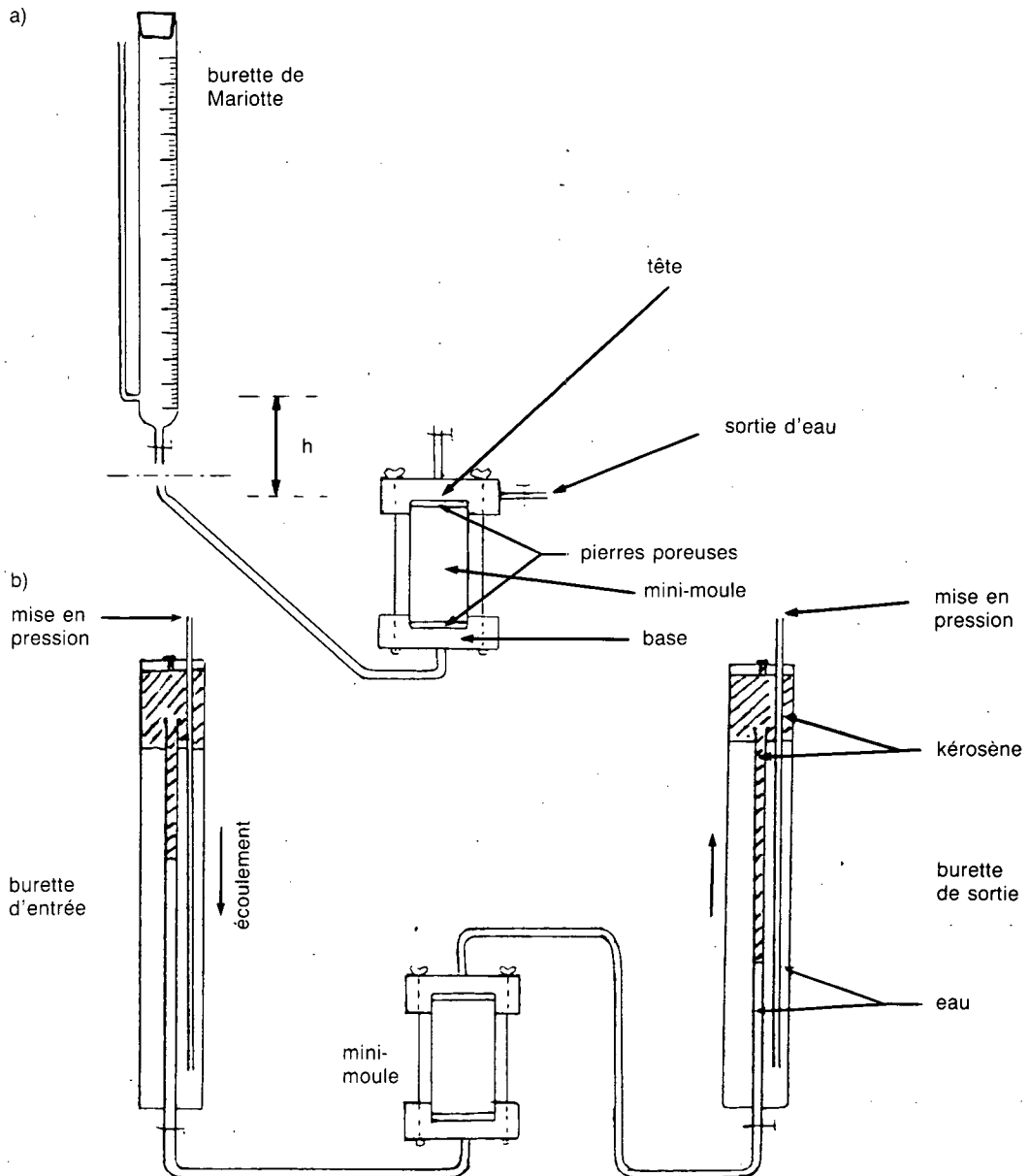


TABLEAU 1

Comparaison des caractéristiques de compactage et de perméabilité au gros moule et au mini-moule Proctor

	Argile	Argile + 9% chaux	Silt sableux
caractéristiques physiques	passant 5 mm (%) passant 80 μ m (%) ω (%) ω_L (%) I_p	100 97,5 34,3 28,3 9,3	100 50 13,5 14,2 2,8
moule Proctor modifié	ω_{opt} (%) $\rho_{d,max}$ (kg/m ³)	18 1714	20,2 (normal: 26,8) 1671 (normal: 1475) 2042
mini-moule	ω_{opt} (%) $\rho_{d,max}$ (kg/m ³)	17,3 1757	22,5 (normal: 26,4) 1615 (normal: 1492) 1974
Coefficient de perméabilité	k gros moule (cm/sec) à ω naturelle k mini-moule (cm/sec) à ω naturelle k gros moule (cm/sec) à ω optimum k mini-moule (cm/sec) à ω optimum	$6,8 \cdot 10^{-7}$ $4,5 \cdot 10^{-7}$ $1,9 \cdot 10^{-7}$ $0,9 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$ $1,9 \cdot 10^{-6}$ $1,3 \cdot 10^{-6}$ $1,0 \cdot 10^{-6}$

Tableau 2: Essais de perméabilité au mini-moule et au triaxial

taux de pose		sable silteux + bentonite (kg/m ²)			sable + bentonite (%)		
		10	14	17	2	5	8
Compactage «dense»	$\omega_{opt}(\%)$	12,3	12,0	10,2	10,0	10,0	10,0
	$\rho_d \text{ max (kg/m}^3\text{)}$	1945	1960	2005	1695	1892	1924
Compactage mini-moule	$\omega \text{ après essai } (\%)$	12,7	12,5	12,7	14,2	13,0	13,3
	$k \text{ (cm/s} \times 10^{-7}\text{)}$	1,0	0,3	1,0	2,8	0,5	0,3
Compactage triaxial	$\omega \text{ après essai } (\%)$				17,3	20,2	
	$k \text{ (cm/s} \times 10^{-7}\text{)}$	0,65	1,7	0,75	9,5	13,0(?)	
Compactage «lâche»	$\omega_{opt}(\%)$				10,0	10,0	10,0
	$\rho_d \text{ max (kg/m}^3\text{)}$				1146(?)	1799	1732
Compactage mini-moule	$\omega \text{ après essai } (\%)$				16,0	15,5	18,9
	$k \text{ (cm/s} \times 10^{-7}\text{)}$				13	0,4	0,2
Compactage triaxial	$\omega \text{ après essai } (\%)$				21,9	22,5	
	$k \text{ (cm/s} \times 10^{-7}\text{)}$				>100	2,3(?)	

NOTE : – le compactage «dense» au mini-moule correspond à 100 % de l'énergie Proctor modifié, le compactage «lâche» à 25 % de l'énergie;

- l'échantillon triaxial est consolidé avec une pression cellulaire de 400 kPa et une contre-pression de 300 kPa; le gradient appliqué est compris entre 10 et 40;
- l'échantillon de sable silteux comprend 74 % de sable, 24 % de silt et une teneur en eau initiale de 12,3 %;
- l'échantillon de sable + 2 % de bentonite comprend 98 % de sable auquel on a rajouté 10 % d'eau; ceux à 5 % et 8 % de bentonite comprennent respectivement 95 % et 92 % de sable auquel on a rajouté aussi 10 % d'eau en poids de l'échantillon sable + bentonite.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 095 174