

QUEYROI, D., Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées, Bordeaux, France

SOYEZ, B., Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France

SCHMITT, P., Solétanche Entreprise, France

MESURE EN LABORATOIRE DE LA CAPACITE DE DECHARGE DE DRAINS PLATS PREFABRIQUES

LABORATORY MEASUREMENT OF THE DISCHARGE CAPACITY OF PREFABRICATED BAND SHAPED DRAINS

LABORMESSUNGEN DES ENTWÄSSERUNGSVERMÖGENS VON VORGEFERTIGTEN FLACHEN DRAINS

Cet article présente le matériel mis au point par le Réseau des Laboratoires de Ponts et Chaussées (France) pour la mesure de la capacité de décharge des drains plats. La principale caractéristique de ce matériel est de pouvoir étudier l'influence du confinement du drain sur l'évolution de la capacité de décharge ; le drain peut être, à cet effet, placé soit à l'intérieur d'une membrane étanche, soit dans une éprouvette de sol subissant plusieurs paliers de consolidation. Un dispositif simple permet enfin de pouvoir imposer, si désiré, une déformation verticale au drain pendant l'essai. Un intérêt supplémentaire de ce matériel est de permettre, sans modification, la mesure de la transmissivité d'un géotextile.

This paper deals with the apparatus developed in France by the Laboratoires des Ponts et Chaussées for the laboratory measurement of the discharge capacity of band-shaped drains. This material allows the study of the discharge capacity versus the lateral pressure exerted on the drain ; the drain can be either inserted in a waterproof membrane or placed in a soil sample subjected to several radial consolidation increments. A simple device allows the application of a vertical strain to the drain during the test. Without any modification, the apparatus, allows the determination of the transmissivity of a geotextile.

INTRODUCTION

Les chantiers de drains verticaux réalisés en France depuis quelques années mettent en oeuvre de façon de plus en plus systématique des drains préfabriqués. Devant le grand nombre de produits proposés, il a paru nécessaire au Réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées de lancer un programme de recherches destiné à définir, à terme, des critères d'acceptation ou de rejet de ces matériaux.

L'orientation retenue pour cette recherche est double :

- examen en laboratoire des caractéristiques intrinsèques des drains plats ;
- analyse comparative des résultats obtenus sur des chantiers instrumentés.

Cette article se rapporte à la détermination en laboratoire des caractéristiques intrinsèques des drains, et principalement de la capacité de décharge q_w , qui apparaissait jusqu'en 1983 comme le facteur prépondérant quant à leur efficacité sur le terrain.

On verra que la méthode expérimentale développée à cette occasion offre également des débouchés intéressants dans le domaine des géotextiles, puisque l'appareillage d'essai qui a été mis au point permet la détermination de leur transmissivité (perméabilité axiale \times épaisseur).

I - LA MESURE EN LABORATOIRE DES CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES D'UN DRAIN PLAT

I-1 Généralités sur les essais de laboratoire

L'étude en laboratoire des propriétés hydrauliques des drains plats préfabriqués a été orientée à ce jour selon trois familles d'essais :

- l'évaluation du diamètre "équivalent" d_e du drain, à introduire dans les méthodes courantes de dimensionnement des projets ;
- l'évaluation "globale" de l'efficacité du drain ;
- la mesure relative des caractéristiques hydrauliques du drain, à savoir :
 - . sa capacité de décharge q_w dans son sens horizontal,
 - . son coefficient de perméabilité latérale, en tenant compte, ou non, des problèmes de colmatage.

La première famille d'essais revient en fait à évaluer les performances relatives des drains préfabriqués vis-à-vis de drains de sable, par la mesure d'un "diamètre équivalent" d_e . Les essais du second groupe consistent à suivre l'évolution dans le temps de la consolidation radiale autour du drain, par la mesure en continu de la quantité d'eau évacuée par celui-ci. Le dépouillement des mesures correspondant à ces deux types d'expérimentations est en général d'une interprétation délicate ; de nombreux facteurs, tant théoriques qu'expérimentaux peuvent, s'ils ne sont pas pris en compte, venir en fausser les conclusions.

Les essais de la troisième famille, concernant la mesure sélective des caractéristiques hydrauliques des drains préfabriqués, ont été orientés vers la détermination :

. soit de leur perméabilité latérale. Cette mesure se résume dans de nombreux cas à celle de la perméabilité du filtre entourant l'âme du drain, en tenant souvent compte des phénomènes de colmatage ;

. soit de leur capacité de décharge q_w .

On appelle capacité de décharge q_w d'un drain, le produit : $q_w = k_w A_w$

avec : k_w = coefficient de perméabilité longitudinale du drain (m/s)

A_w = section du drain (m²)

L'influence de la capacité de décharge d'un drain sur son efficacité à dissiper un champ de surpressions interstitielles a été mis théoriquement en évidence par Hansbo [1] et Yoshikuni et Nakanodo [2].

Les nombreux essais mis au point pour déterminer ce paramètre attestent de l'intérêt qui lui est porté (Den Hoegt [3] ; Kremer et al. [4], [5] ; Hansbo [1], [6], [7], [8] ; Oostveen [9], etc..) mais le consensus s'arrête là, et les procédures pour mesurer q_w restent très diversifiées. En particulier, il apparaît une divergence d'analyse entre les partisans des essais à réaliser sur des échantillons de drains seuls et ceux des essais à réaliser sur des échantillons de drain noyés dans un sol.

I-2 Orientations retenues

Afin de cerner de manière complète les problèmes liés à l'analyse du facteur q_w , il est apparu fondamental d'imposer à l'appareillage à mettre au point la polyvalence nécessaire à la réalisation de mesures aussi bien sur "drain libre" (en fait isolé dans une membrane étanche devant transmettre si possible sans distorsion la pression du fluide de confinement) que sur "drain noyé" dans une éprouvette de sol.

D'autres spécifications furent retenues, à intégrer dans la conception de l'appareillage d'essai :

- . possibilité de réaliser des essais avec des échantillons de drains de 5 cm de largeur (1/2 drain conventionnel) pour les essais courants et des échantillons de drains de 10 cm de largeur (drain complet) pour des essais particuliers ;
- . variation possible des pressions de confinement, autour de l'échantillon, de 0 à 1 000 kPa, ces pressions pouvant être isotropes ou anisotropes afin de mieux représenter le comportement du sol ;
- . maîtrise des déformations longitudinales du drain. Cette option permet d'imposer une déformation contrôlée du drain et de mesurer son influence sur les caractéristiques hydrauliques.
- . suivi de la consolidation du sol pour les essais avec un drain noyé ;
- . contrôle de l'étanchéité entre les systèmes de mesure et de mise en pression avant chaque essai, de façon à ne pas provoquer de perturbation sur les mesures. Le circuit de mesure (utilisation d'eau désaérée et déminéralisée) doit avoir un diamètre intérieur des canalisations suffisant pour ne pas induire de perte de charge significative.

Une réflexion a également été menée afin de définir un sol "standard", et la méthodologie nécessaire à sa réalisation, de manière à assurer la parfaite reproductibilité des essais "drain noyé".

II - LE MATERIEL D'ESSAI L.P.C.

II-1 Description de l'appareillage

Les réflexions précédentes ont abouti à la conception d'un appareillage reposant sur la mise en oeuvre d'une cellule triaxiale de grandes dimensions (acceptant des échantillons de 150 mm de diamètre), modifiée afin de permettre une circulation d'eau dans le sens longitudinal du drain et ce, sans perte de charge significative du fait même de l'appareil.

Cette cellule est représentée sur la figure 1, dans sa version pour essai sur un demi-drain (échantillon de drain plat de 5 cm de largeur). Les essais sur drain complet (10 cm de largeur) peuvent être réalisés avec un socle et un chapeau adaptés. Le diamètre intérieur minimum des circuits de mesure de la capacité de décharge a été fixé à 10 mm après calcul de la perte de charge propre des différents circuits. L'adaptation de capteurs de pression de part et d'autre de l'échantillon testé dans le cas de drain de grande dimension, ou pour des gradients élevés, a été prévue.

La partie la plus complexe de la mise au point a porté sur le système de liaison entre le drain et le circuit de mesure de la capacité de décharge. En effet, l'étanchéité doit être parfaite entre ce circuit de mesure et les pressions de confinement agissant sur le drain.

Cette étanchéité doit de plus répondre aux deux critères contradictoires suivants :

- . liaison souple transversalement pour ne pas écraser le drain (dont les dimensions extérieures sont variables) et introduire ainsi une perte de charge néfaste ;
- . liaison rigide axialement pour permettre l'application d'efforts dans l'axe du drain (essais avec contraintes anisotropes) ou pour provoquer de grandes déformations.

La solution retenue repose sur l'utilisation de deux demi-coquilles adaptables au type d'essai à réaliser. Ces demi-coquilles présentent un logement interne contenant un produit caoutchouté d'étanchéité. Le drain lui-même est découpé de façon à pouvoir transmettre intégralement l'effort axial éventuel.

Ce système permet :

- dans le cas d'un essai avec drain libre d'imposer une déformation contrôlée à l'échantillon ;
- dans le cas d'un essai avec drain noyé, d'opter pour une déformation identique entre le drain et le sol, ou pour une déformation libre.

En ce qui concerne l'application du gradient hydraulique aux extrémités des échantillons de drain ou de géotextile, le système actuel est constitué de réservoirs mobiles coulissant sur des règles graduées et permet d'appliquer des gradients pouvant varier de 0 à 3 pour les longueurs d'échantillons admissibles par cette enceinte. Pour des valeurs supérieures du gradient, une mise en pression pneumatique de l'eau circulant dans le drain est envisagée.

Quel que soit le cas de figure, l'écoulement imposé est ascendant.

II-2 Ses possibilités

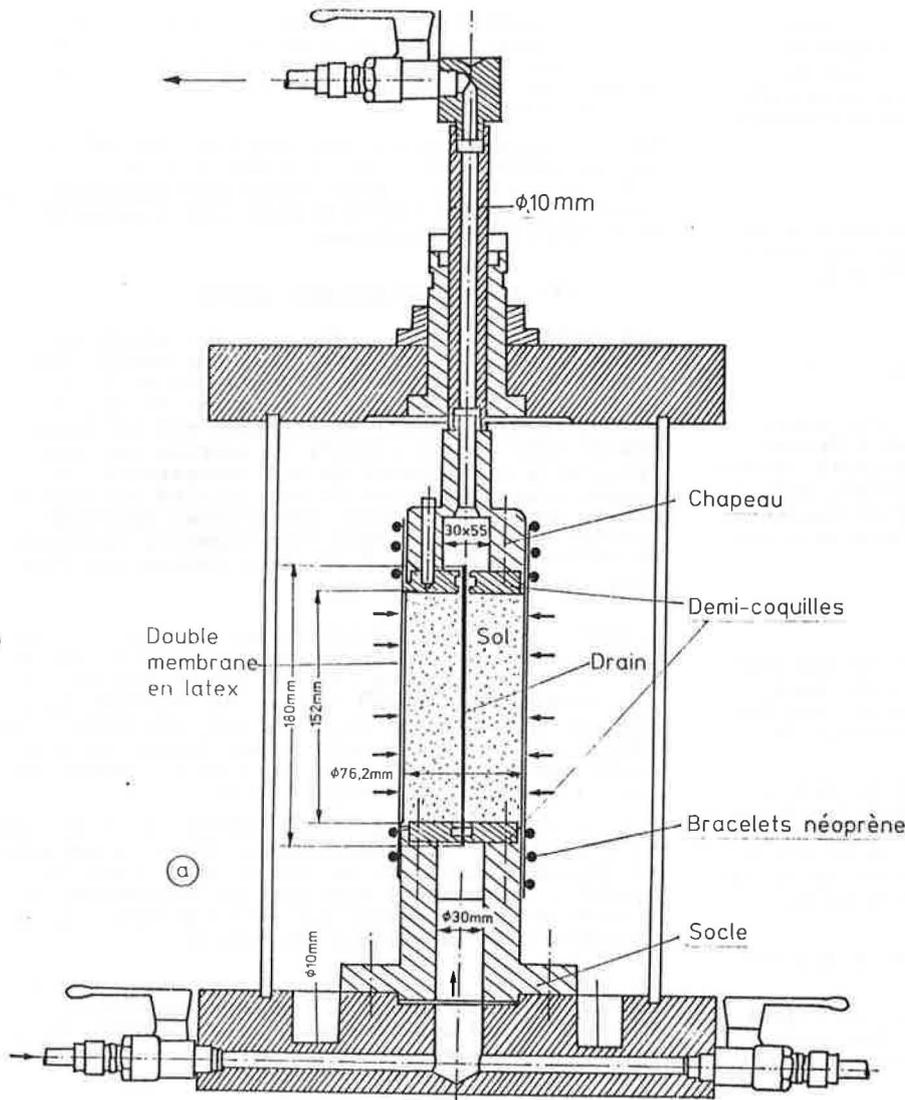


Figure 1 -
Cellule triaxiale modifiée, avec
des échantillons de drains plats
a) essai avec un échantillon noyé
dans une éprouvette de sol,
b) essai avec un échantillon de
drain libre.

La cellule L.P.C. permet de mettre en oeuvre des échantillons de sol, avec drain noyé, de 150 mm de diamètre et 300 mm de hauteur maximum. Jusqu'ici les premiers essais ont été effectués avec des éprouvettes de sol de 76,2 mm de diamètre et de 152 mm de hauteur, contenant des échantillons de drains de 50 mm de largeur (demi drain standard).

L'utilisation d'une cellule triaxiale permet également de réaliser une grande variété d'essais, en particulier dans le cas de "drains noyés" :

- pression de confinement variable de 0 à 1 000 kPa, avec possibilité de consolidation isotrope ou anisotrope du sol autour du drain selon le problème posé ;
- essai avec sol reconstitué ou sol naturel prélevé en place ;
- et de façon générale, toutes les possibilités habituellement utilisées dans les cellules triaxiales (chemin de contraintes particulier, tassement sans déviateur, etc...) et donc d'apporter une réponse aux questions suivantes :

- . comparaison des valeurs de capacité de décharge d'un drain libre, ou noyé dans un sol donné ;
- . mesure de l'évolution de la capacité de décharge en fonction de la pression de confinement, ou de la déformation imposée au drain ;
- . comparaison des valeurs de capacité de décharge de différents types de drains, libres ou noyés dans un sol naturel ou reconstitué ;
- . mesure de l'efficacité globale d'un drain dans un sol par le suivi de la consolidation sous différents états de contraintes ;
- . mesure du diamètre équivalent d'un drain plat par référence à un drain cylindrique de sable dans un sol reconstitué ;
- . importance de l'influence du temps sur le comportement du drain en intercalant par exemple une période d'attente plus ou moins longue à chaque palier de consolidation, entre la fin de la consolidation primaire et la mesure de la capacité de décharge proprement dite.

La cellule L.P.C. offre une gamme aussi étendue de possibilités d'évaluation de la transmittivité de géotextiles, en particulier au niveau de la prise en compte de l'influence de la nature du sol sur l'évolution des propriétés hydrauliques du matériau drainant.

III - DEUX EXEMPLES D'APPLICATION

L'appareillage présenté ci-dessus a été mis en oeuvre sur deux types d'échantillons, un drain plat (DESOL) et un géotextile (BIDIM 464).

III-1 Essais sur drain DESOL

III-1-1 Présentation du DESOL

Ce drain se présente sous la forme d'un ruban plat extrudé, en polyoléfine de 2 mm d'épaisseur et de 95 mm de largeur. Sa structure interne est une succession de canaux parallèles, dont la paroi en contact avec le sol peut être perforée à la demande par des orifices de dimensions variant entre 10 et 40 μm .

III-1-2 Programme d'essais

Le programme réalisé a comporté des essais avec "drain libre" et des essais avec "drain noyé" dans un sol reconstitué. Dans les deux cas, les échantillons utilisés avaient une largeur de 50 mm.

. les essais avec drains libres ont permis de juger de l'évolution de la capacité de décharge hors sol en fonction de la contrainte isotrope de confinement appliquée (variable de 10 à 500 kPa), du temps (jusqu'à 360 heures) et de la déformation axiale de l'échantillon (essai de pliage) ;

. les essais avec drain noyé ont suivi la procédure suivante :

L'échantillon de drain est mis en place dans l'éprouvette cylindrique de sol reconstituée qui a été préalablement découpée aux dimensions

du drain. L'ensemble "sol-drain" est ensuite mis en consolidation isotrope et la capacité de décharge est mesurée en fin de consolidation, pour différents chargements (50 à 500 kPa) et en fonction du temps.

Le sol reconstitué utilisé (kaolin corrigé avec peu de sable : $D_{85} = 50 \mu\text{m}$; $D_{50} = 2 \mu\text{m}$; $D_{35} = 1 \mu\text{m}$) a une courbe granulométrique comprise dans le fuseau des sols français fins aptes à être traités par drainage.

III-1-3 Résultats des essais

Les figures 2,3 et 4 présentent les résultats les plus caractéristiques parmi les essais réalisés. La figure 2 montre l'évolution de la capacité de décharge q_w en fonction de la pression latérale exercée directement sur le drain (essai avec "drain libre") ou exercée sur une éprouvette cylindrique de sol reconstitué. La courbe granulométrique du sol utilisé est représentée sur cette figure. Les courbes obtenues mettent en évidence deux comportements distincts de ce drain plat, pour les deux catégories d'essais réalisés :

. pour une pression latérale sur le drain ou sur l'éprouvette de sol inférieure à 200 kPa, la capacité de décharge q_w évolue peu en fonction de la pression, et dépend surtout du gradient appliqué. Le comportement du drain est sensiblement le même pour les essais avec drains libres ou drains noyés dans le sol (figure 3), l'écart obtenu sur les valeurs de q_w étant $< 10 \%$.

. pour une pression latérale supérieure à 200 kPa, la capacité de décharge diminue de façon marquée, et dépend à partir de ce moment aussi bien du gradient hydraulique appliqué aux extrémités de l'échantillon de drain, que de la pression de confinement dans la cellule (figure 4).

On notera que les valeurs correspondant aux essais avec drain libre ne tiennent pas compte d'une éventuelle correction, tenant compte de la possibilité d'amortissement des contraintes appliquées par la membrane double en latex.

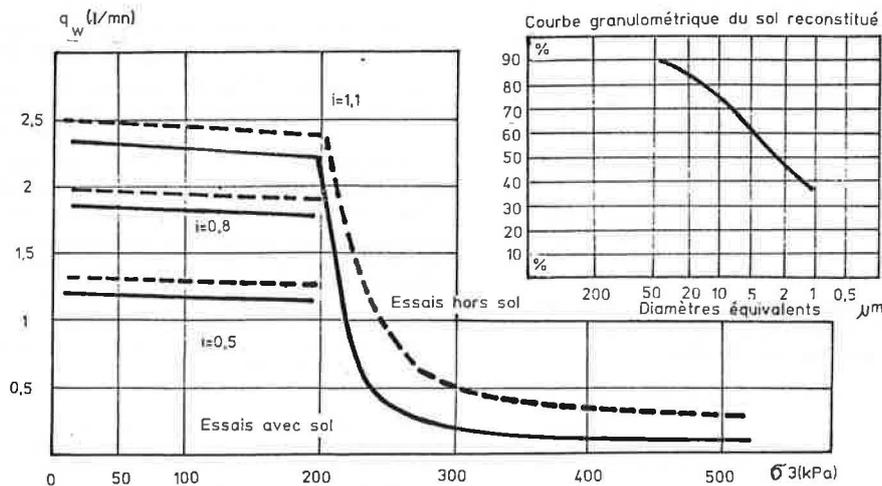


Figure 2 - Evolution de la capacité de décharge q_w en fonction de la pression σ_3

Il semble donc que pour une pression de confinement dans la cellule inférieure à 200 kPa, la rigidité propre du drain empêche sa déformation, la capacité de décharge q_w étant alors indépendante de la pression latérale, et comprise entre $q_w = 2,1$ à $2,3$ l/mm pour le drain de largeur 95 mm, et les résultats sont sensiblement les mêmes pour les essais avec drains libres ou drains noyés dans le sol. Ceci correspond à une perméabilité longitudinale du drain de :

$$k_w = 2.10^{-1} \text{ m/s}$$

q_w (l/mn) drain DESOL, 95mm de large

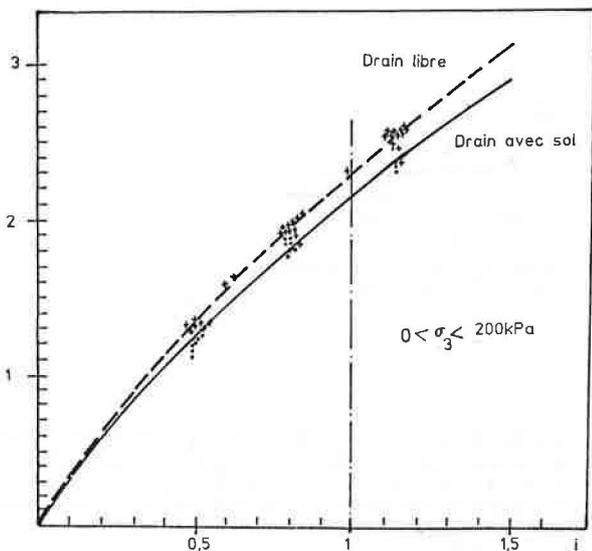


Figure 3 - Evolution de la capacité de décharge q_w en fonction du gradient hydraulique i pour σ_3 200 kPa.

Au delà du seuil de 200 kPa, dès que le drain se déforme de façon sensible, on note une différence importante entre les essais avec drains libres ou drains noyés dans le sol. Les écarts mesurés sur q_w peuvent alors dépasser 100 %.

III-2 Essais sur le géotextile BIDIM U 64

III-2-1 Présentation du BIDIM U 64

Le géotextile U 64 est un non-tissé à filaments continus en polyester, réalisé par aiguilletage. Son épaisseur est de 4,2 mm et sa masse spécifique de 550 gr/m².

III-2-2 Programme d'essai réalisé

Les essais ont été réalisés sur des échantillons de géotextile de 5 cm de largeur et de 20 cm de longueur. Le programme suivi est le même que pour le drain plat DESOL, c'est à dire des essais avec le géotextile noyé dans une éprouvette cylindrique de sol (ϕ 76 mm) et avec le géotextile libre entouré d'une membrane en latex.

III-2-3 Résultats des essais

Les résultats obtenus (figure 5) montrent que les comportements entre le géotextile et le drain plat testés sont différents. Le géotextile se déforme dès les premières charges contrairement au drain plat, et la capacité de décharge mesurée suit cette évolution sans apparition d'un palier pour les faibles pressions latérales. Et l'on note ici pour toutes les pressions latérales des résultats de mesure différents selon que les essais sont réalisés avec un échantillon de géotextile sans sol ou noyé dans le sol.

Le tableau I illustre les différences obtenues sur les mesures de q_w pour ces deux types d'essai, avec un écart sensiblement constant variant de 40 à 60 % environ.

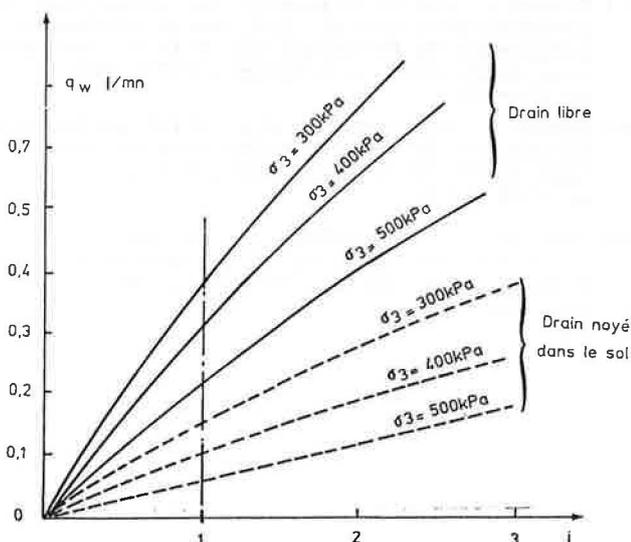


Figure 4 - Evolution de la capacité de décharge q_w en fonction du gradient hydraulique i , et pour des pressions latérales σ_3 200 kPa.

BIDIM U 64 type d'essai	q_w en m ³ /an pression latérale σ_3 (kPa)				
	50	100	200	300	400
drain noyé dans le sol	26,3	12	5,3	3,4	2,1
drain hors sol	18,9	7,9	3,4	2,2	1,3
écart constaté en %	39	52	56	55	61

TABLEAU 1 -

Comparaison des capacités de décharges mesurées selon deux types d'essai :

- géotextile noyé dans le sol
- géotextile sans sol

(pour un géotextile de 10 cm de largeur)

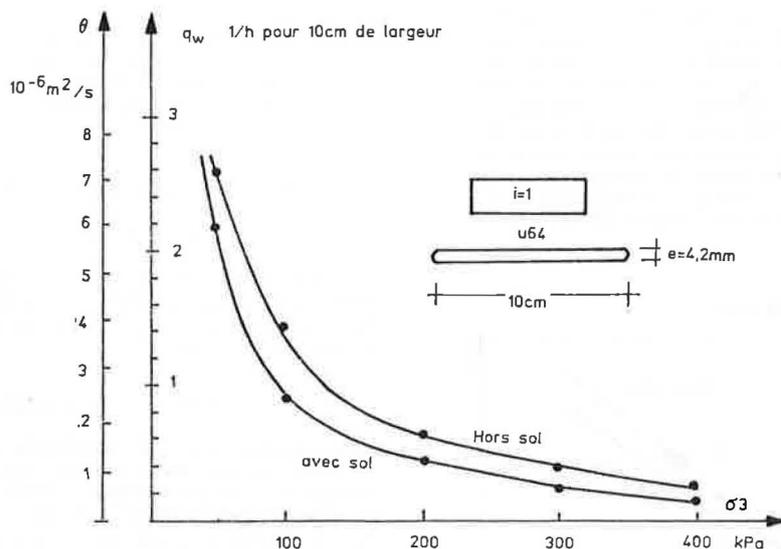


Figure 5 - Evolution de la capacité de décharge q_w ou de la transmissivité θ du géotextile testé en fonction de la pression latérale.

CONCLUSION

Un appareillage a été mis au point qui permet l'étude de la capacité de décharge de drains plats préfabriqués ou de la transmissivité de géotextiles sous diverses configurations.

Les résultats des premiers essais effectués à ce jour traduisent une différence de comportement du matériau drainant, selon qu'il soit ou non noyé dans le sol.

L'analyse de cette variation passera par une modélisation théorique de la répartition des pressions interstitielles et des contraintes autour de l'échantillon. En l'état actuel des choses, les valeurs d'essai obtenues semblent être en bonne concordance avec celles obtenues par ailleurs sur une gamme de drains comparables.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] HANSBO S. Consolidation of clay by band-shaped prefabricated drains, *Ground Engineering*, vol.12, n° 5, July 1979, pp 16-25.
- [2] YOSHIKUNI H., NAKANODO H. Consolidation of soils by vertical drain wells with finite permeability, *Soils and Foundations*, vol.14, n°2 1974, pp 35-46.
- [3] DEN HOEGT G., Laboratory testing of vertical drains, C.R. Xè Conférence Internationale de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondation, Stockholm, 1981, vol.1, pp 627-630.
- [4] KREMER R., DE JAGER W., MAAGDENBERG A., MEYVOGEL I., COSTUEE Quality standard for vertical drains, C.R. IIè Conférence Internationale sur les géotextiles, Las Vegas, 1982, vol. 2, pp 319-324.
- [5] KREMER R.H.J., OOSTVEEN J.P., Van WEELE A.F., DE JAGER W.F.J., MEYVOGEL I.J. The quality of vertical drainage, C.R.VIIIè Conférence Européenne de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondation, Helsinki, 1983, vol.2, pp 721-726.
- [6] HANSBO S. Consolidation of fine-grained soils y prefabricated drains C.R. Xè Congrès International de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondation, Stockholm, 1981, vol.3, pp 677-682.
- [7] HANSBO S. How to evaluate, the properties of prefabricated drains, C.R. VIIIè Conférence Européenne de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondation, Helsinki, 1983, Vol.2, pp 621-626.
- [8] HANSBO S. Discussions, C.R. VIIIè Conférence Européenne de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondation, Helsinki, 1983, Vol.3, pp 1148-1149.
- [9] OOSTVEEN J.P. Discussions, C.R. VIIIè Conférence Européenne de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondation, Helsinki, 1983, Vol.3, pp. 1152-1154.