

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

GC.0420

PROJET DE FIN

D'ETUDES

TITRE: COMPORTEMENT DES
GEOTEXTILES NON-TISSES
EN ETAT BIDIMENSIONNEL
DE TENSION

PAR

ABDOUL AZIZ LO

ELEVE INGENIEUR EN GENIE CIVIL

DIRECTEUR DE PROJET: Dr. V. CIUBOTARIU
PROFESSEUR A L'ECOLE

DATE: JUIN 1982



école polytechnique
de thies

A

MES PARENTS ET AMIS
POU LEUR SOUTIEN

REMERCIEMENTS

Nous remercions très sincèrement tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de ce projet et plus particulièrement :

- Mr VICTOR Ciubotariu, notre directeur de projet, professeur de Résistance des Matériaux et Ressources Hydrauliques, pour sa grande disponibilité et son apport sur le plan des idées et de la documentation.

- Mr Guy Vigneault, responsable du laboratoire de Résistance des Matériaux, pour les services prêtés lors de la réalisation de l'appareillage.

- Les compagnies Texel inc. et Dominion Textile inc. qui ont bien voulu nous fournir les échantillons ayant servi aux essais.

- Mr Marcel Blais, responsable du laboratoire d'hydraulique, pour sa disponibilité.

SOMMAIRE

L'utilisation des geotextiles comme materiau de separation entre des zones de materiaux de granulometrie differente et au travers desquelles il y a un ecoulement exige la maitrise du comportement de la membrane geotextile dans ces conditions. Pour ceci un appareillage approprié est necessaire.

Dans une premiere phase, nous essayons de mettre sur pied un appareillage permettant d'etudier certaines caracteristiques de comportement hydraulique des geotextiles non-tissés se trouvant en état bidimensionnel de tension.

Une deuxieme phase sera consacree a la determination experimentale du coefficient de permeabilite et des proprietes filtrantes de certains types de geotextile.

De nombreux essais sont faits sur des echantillons de Penroad N° 150 - 250 - 350 - 450 - 550 pour determiner:

- le coefficient de permeabilite verticale pour l'echantillon non tendu et pour celui tendu de 829 N/m de largeur.

Un essai qualitatif de filtration est realise.

Les contraintes de tension appliquees ne sont pas suffisantes pour permettre d'expliquer l'influence de la tension bidimensionnelle sur les proprietes de permeabilite et de filtration mais, avec le nouveau dispositif de mise en tension congu, ce probleme serait resolu.

conclusion

TABLE DES MATIERES

	PAGES
REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
CHAPITRE I. INTRODUCTION	3
CHAPITRE II - Presentation GENERALE des GEOTEXTILES	4
A) - Utilisation comme drains et filtres	5
B) - Opportunit� de l'essai de traction bidimensionnelle	7
CHAPITRE III. Presentation de l'appareil conqu et realis�	12
A) - Permeabilit�	13
1. Vitesse de percolation - loi de Darcy	13
2. Force de Percolation	15
B) - Filtration	16
D) - APPAREILLAGE	17
1. presentation generale de l'appareillage	17
2. preparation de l'echantillon	22
3. dispositif de mise en tension	23
CHAPITRE IV - ESSAIS de Permeabilit� et de Filtration	28
A) - Essai de Permeabilit�	29
1. Procedure experimentale	29
2. Etalonnage de l'appareil	31

3. Essais	34
B). Essai de Filtration .	47
CHAPITRE V - Conclusion et Discussions	49
ANNEXE I	53
ANNEXE II	58
	60
Bibliographie	60

CHAPITRE I

INTRODUCTION

APR 19 1960
12 11 00

Les geotextiles sont à base de fibres qui, grâce au développement de la chimie organique, ont connu un véritable essor. Un grand intérêt est porté sur les propriétés mécaniques, chimiques et hydrauliques des geotextiles.

La maîtrise des fonctions et des propriétés des geotextiles par des méthodes sophistiquées et adaptées permet dès lors leurs utilisations dans divers ouvrages de Génie.

Des études économiques ont été faites sur la base des prix existant actuellement au Sénégal et ces études ont prouvé que l'utilisation comme filtre dans la protection des berges est toujours rentable et l'utilisation comme anticonta-
-minant dans les remblais est également rentable (fonction de la proximité de la carrière d'agrégats).

Au fur et à mesure que l'utilisation progresse, il apparaît de plus en plus tentant d'envisager des emplois de ces matériaux là où leurs propriétés puissent être mises à profit plus complètement et où ils puissent jouer un rôle décisif dans la conception même des ouvrages.

Cela ne sera possible que si leurs propriétés sont précisément définies et si le comportement de l'ensemble sol + textile peut être prévu avec une approximation suffisante. De nombreuses possibilités peuvent alors être imaginées :

- rideau séparateur
- couches filtrantes dans les barrages en terre et les ouvrages maritimes
- renforcement des sols
- filtres et drains
- bassins d'infiltration pour restitution d'eau à la nappe phréatique

Un certain nombre de ces applications ont d'ailleurs été déjà abordées au moyen d'essais de laboratoire ou en vraie grandeur. En fonction du rôle attribué aux géotextiles, à dominance hydraulique ou mécanique, des matériaux différents peuvent alors se révéler comme intéressants.

Les géotextiles utilisables, notamment les non-tissés aiguilletés, peuvent constituer en principe des couches drainantes et filtrantes, mais leur efficacité éventuelle suscite différentes questions :

- Quelle est la perméabilité que l'on peut attribuer à ces matériaux ?
- Ne risquent-ils pas d'être bouchés dès la mise en place si ils se trouvent au contact d'une couche, même mince, de sol de consistance très molle ?
- Des couches drainantes d'une aussi faible épaisseur peuvent-elles transporter un débit suffisant ?

Le présent projet tente de rechercher des réponses assez précises à certaines de ces questions, réponses qui auront l'intérêt d'être encourageantes quant à l'efficacité pratique de tels matériaux.

CHAPITRE II

PRESENTATION GENERALE

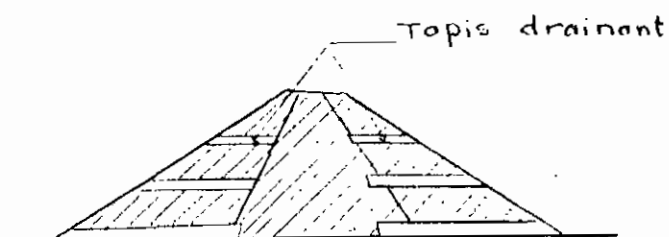
DES GEOTEXTILES

D'apportation récente sur le marché des travaux publics, les géotextiles paraissent aptes à apporter des solutions à divers problèmes posés par les sols de qualité médiocre.

L'emploi comme couche anti-contaminante pour les remblais sur argile molle, vase ou tourbe est maintenant bien connu. Il se développe de nombreuses autres utilisations encore plus ou moins au stade expérimental.

A. UTILISATION COMME DRAINS ET FILTRES

Une utilisation paraissant avoir un avenir intéressant est l'emploi des non-tissés en tant que drains. Les problèmes de drainage sont en effet extrêmement courants. Les solutions sont généralement onéreuses, peu faciles de mise en œuvre, et parfois d'une efficacité ou d'une pérennité aléatoire. L'emploi de tapis drainants s'avère utile lorsqu'on cherche à accélérer la consolidation du sol. Une étude de Gibson et Shefford [1] a cependant montré que ces tapis drainants ne sont efficaces que si leur perméabilité est considérablement plus forte (30 000 à 100 000 fois) que celle du sol dont on veut accélérer la consolidation.



Barrage en argile équipé de tapis drainants à différents niveaux afin d'accélérer la dissipation de la pression interstitielle pendant la construction

Ceci montre l'intérêt de l'étude de la perméabilité des géotextiles afin de voir s'ils sont aptes à remplir de rôle de drains et constituer ainsi une solution économique à cet important problème.

Une autre utilisation non moins intéressante est l'emploi des non-tissés comme couche filtrante. En effet le problème de contamination est dangereux et peut même conduire, par le phénomène d'érosion interne régressive, à la ruine de bien d'ouvrages. En milieu perméable, l'eau peut atteindre des vitesses d'écoulement assez élevées pour entraîner les particules les plus fines. L'entraînement des fines du sol se traduit par une augmentation de la perméabilité et par conséquent de la vitesse d'écoulement. Des éléments plus gros sont alors entraînés et, petit à petit, le phénomène s'amplifiant, le sol de fondation se désorganise complètement. On peut combattre, avec succès, le phénomène d'érosion interne en construisant à l'aval de l'ouvrage, un filtre ayant pour but d'empêcher l'entraînement des fines. Le filtre devra être assez étendu pour intercepter les lignes de courant le long desquelles le gradient hydraulique moyen est suffisamment élevé pour être dangereux.

Une solution économique de ce problème de filtre viendrait à son heure. En effet, pour illustration, le volume de matériau mis en œuvre dans un barrage à noyau est moins important, toutes choses étant égales par ailleurs. Cependant il est nécessaire d'interposer entre le noyau et les surcharges des filtres ayant pour but d'empêcher l'entraînement des éléments fins du sol. La construction de ces filtres est suffisamment onéreuse, pour que, dans le cas

de certains petits ouvrages, la solution "dignes homogènes" soit plus économique.

A la lumière de tout ce qui précède, on se rend compte que l'utilisation des géotextiles pourrait être intéressante une fois ces propriétés bien connues.

B. OPPORTUNITE DE L'ESSAI DE TRACTION bidimensionnelle

Pour une bonne maîtrise des propriétés des géotextiles, des essais normalisés s'avèrent nécessaires

Depuis quelques années également, on assiste à une mise au point d'essais dans plusieurs domaines, notamment sur :

- le comportement en traction unidimensionnelle
- la résistance à la déchirure
- la perméabilité
- les propriétés filtrantes
- le fluage, le cisaillement, l'éclatement, le poinçonnement, la tenue à l'eau
- les propriétés hydrauliques (porosité et indice des vides)

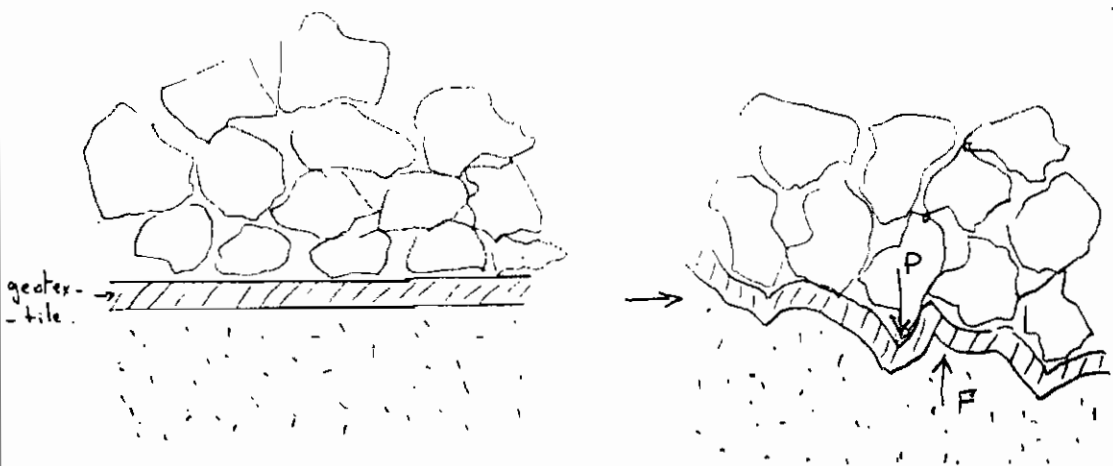
Cependant, le développement des géotextiles pose le problème des normes applicables à ces produits : des essais normalisés sont nécessaires pour les décrire en termes techniques appropriés. La difficulté est que la plupart des essais existants ne sont pas adaptés aux applications nouvelles du domaine de la géotechnique. Il faut donc modifier les essais existants ou créer des essais nouveaux. Plusieurs essais existent déjà pour étudier les propriétés des géotextiles :

essai de traction unidirectionnelle, essai de compression... mais à notre connaissance aucun essai n'a encore été fait pour étudier les caractéristiques de comportement hydro-liquide des géotextiles non-tissés qui sont plutôt en état bidimensionnel de tension une fois mis en place. En effet la géotechnique pose généralement comme hypothèse de travail à l'état plan de déformation. Pour faire comprendre cette notion, MM Rigo et Perfetti, dans leur article "Nouvelle approche de la mesure de la résistance à la traction des géotextiles non-tissés" paru dans le bulletin de liaison du Laboratoire des Ponts et Chaussées - 107 - mai-juin 1980 ref 2441, utilisent des exemples simples qui aboutissent aux conclusions suivantes : la membrane est tendue (σ_1) et déformée (ϵ_1) dans une direction ; dans l'autre direction, la déformation (ϵ_2) est nulle mais la contrainte (σ_2) ne l'est pas. Ils ont donc mis sur pied un essai de traction sur éprouvette de grande largeur. Cette méthode n'est pas parfaite sur le plan théorique, mais approche de manière simple un état bidirectionnel plan de déformations et de contraintes. La méthode consiste en la sollicitation d'une éprouvette de géotextile dont les dimensions sont telles que le rapport $\frac{\text{largeur}}{\text{hauteur}} = 8$.

L'imminence d'un essai bidimensionnel de tension ne fait maintenant aucun doute, c'est pourquoi nous tentons, dans ce présent projet, de concevoir et réaliser un appareillage approprié pour la mise en traction bidirectionnelle des échantillons permettant d'étudier le changement des caractéristiques de perméabilité et de filtration que nous

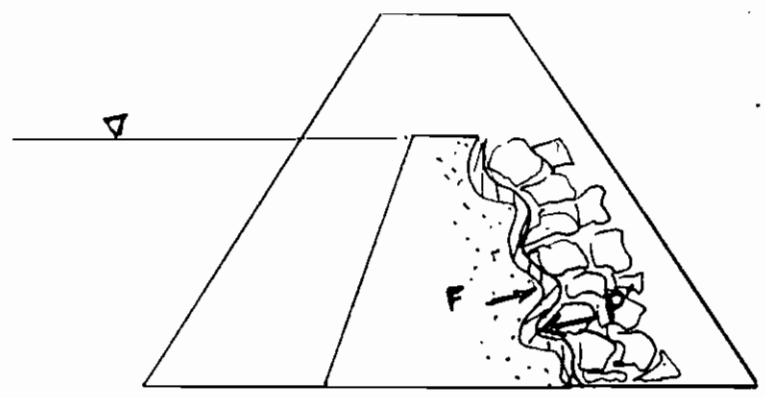
présentons dans le chapitre qui suit.

La connaissance de l'état de contrainte de la membrane géotextile utilisée comme matériau de séparation entre des zones de granulométrie différente et au travers desquelles il y a un écoulement est nécessaire pour la détermination de la nature de l'essai qui simule cette sollicitation. Pour jouer le rôle d'anti-contamination, le géotextile est placé entre le sol support et le matériau d'apport afin d'éviter le mélange sol fin - sol granulaire (contamination) qui aurait pour effet de réduire les caractéristiques mécaniques du sol granulaire. En s'opposant au passage du sol fin entraîné par l'écoulement mais surtout au poids propre du sol si la surface de séparation entre les deux matériaux est horizontale ou à la poussée des terres si la surface de séparation est oblique, la membrane subit des contraintes qui la déforment jusqu'à la faire épouser la forme des blocs qui constituent le sol granulaire. Le problème peut être illustré comme suit:



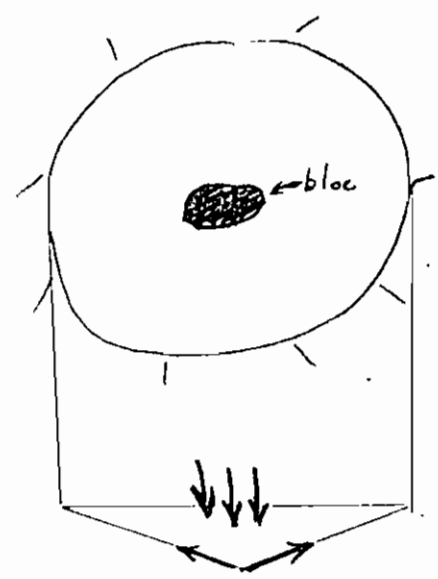
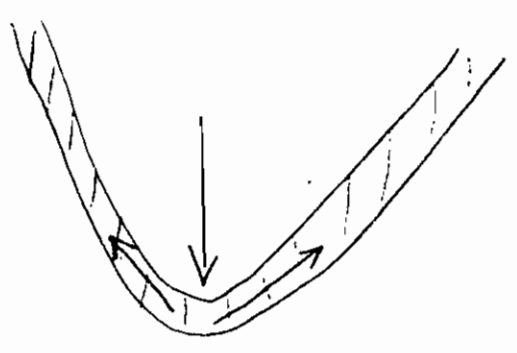
P = poids du sol de dessus
 F = force de percolation

Compaction



P' = poussée des terres
 F = force de percolation

Nous avons montré la situation qui se présente dans une direction quelconque mais on comprend aisément que la situation est pareille dans l'autre. Si on étudie l'état de contrainte de la membrane, on voit la situation suivante :



effet d'un bloc sur la membrane

On constate que la membrane subit une sollicitation biaxiale en tension. Dans cette présente étude, nous nous

intéressons à l'effet que cette lésion le long des directions de plus grande dimension du géotextile aurait sur les caractéristiques de comportement.

CHAPITRE III

PRESENTATION DE L'APPAREIL

CONÇU ET REALISE

Ce dispositif que nous présentons devrait permettre de déterminer le coefficient de perméabilité de géotextiles non tissés et les propriétés filtrantes de ces derniers sous des conditions traduisant celles d'utilisation.

A. PERMEABILITE

Les matériaux non-tissés se présentent sous forme de nappes dont deux dimensions sont très grandes par rapport à la troisième. Il est possible de définir une perméabilité verticale K_v (perpendiculaire au plan de la nappe) et une perméabilité horizontale K_h (dans le plan de la nappe). On peut penser que ces deux perméabilités auront des valeurs voisines, les matériaux étudiés paraissant assez isotropes. Il faut néanmoins faire assez d'essais pour comparer ces deux valeurs. Le dispositif d'essai que nous proposons permettrait de déterminer la perméabilité verticale. On doit étudier la perméabilité en fonction des contraintes σ exercées sur les non-tissés. Les courbes $K_v = f(\sigma)$ devraient être tracées.

QUELQUES RAPPELS

1. VITESSE de PERCOLATION - LOI de DARCY

Designons par Q le débit constant qui traverse le non-tissé. Il est logique d'admettre que le débit de filtration est proportionnel à la force F qui le propulse et inversement proportionnel à la longueur de filtration qui s'oppose à son passage. Posons donc :

$$Q = k \cdot \frac{F}{l}$$

K étant un coefficient constant de proportionnalité.
Par suite, par unité de surface de la section droite A , le débit unitaire est :

$$\frac{Q}{A} = K \cdot \frac{\gamma_w \cdot \Delta h \cdot A}{A \cdot l} = K \cdot \gamma_w \cdot i$$

mais $\frac{Q}{A}$ n'est autre que la vitesse de percolation V , d'où en englobant K et γ_w dans l'expression $k = K \cdot \gamma_w$, il vient :

$$V = k \cdot i$$

ce qui signifie que la vitesse de filtration est proportionnelle au gradient hydraulique. C'est la loi de DARCY.

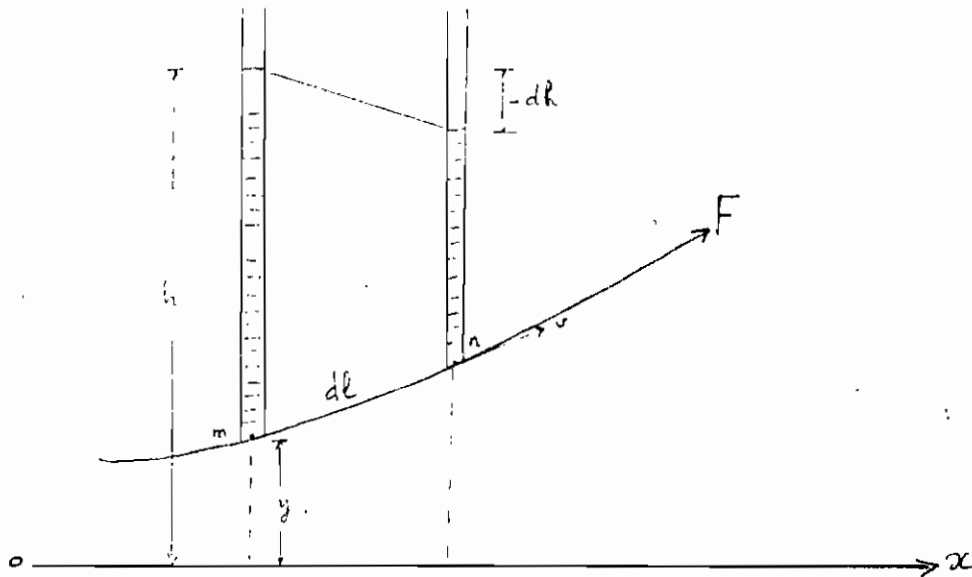
Ceci revient à écrire :

$$\Delta h = \frac{V \cdot l}{k}$$

C'est à dire que la perte de charge Δh est directement proportionnelle à la vitesse V . C'est la caractéristique des écoulements laminaires (régimes non turbulents de Poiseuille). Avec les régimes turbulents ordinaires, la perte de charge est proportionnelle à V^2 . Nous trouvons dans la loi expérimentale de Darcy la justification de l'hypothèse de départ : débit proportionnel à la force de filtration.

Pour mieux comprendre la notion de perte de charge constatée lors de la traversée de l'échantillon, étudions l'exemple suivant tiré de H. Varlet : "Barrage - Reservoir". Tome III
soit F un des filets liquides de l'écoulement sur lequel nous choisirons, comme sens positif, le sens de l'écoulement. Considérons sur ce filet un élément mn de longueur dl et plaçons, en chacun des points m et n , un tube piézométrique. L'eau va monter, par rapport au plan horizontal de comparaison, à la cote h dans le premier et à la cote $(h-dh)$

15
 dans le second, le signe moins devant dh résultant du fait que la charge décroît quand l'eau se déplace sur le fillet (sens positif admis).



le gradient hydraulique, en m , suivant la direction du fillet, est donc

$$i = - \frac{dh}{dl}$$

Cet exemple permettra de mieux saisir la notion de perte de charge dans l'échantillon et aider à la réflexion sur la manière correcte de la déterminer si on utilise un dispositif expérimental quelconque.

2. FORCE de PERCOLATION

La force de percolation se détermine de la façon suivante : $F = \gamma_w \cdot A \cdot \Delta h$

les forces de percolation unitaires (par unité de volume de l'échantillon) ont pour valeur :

$$f = \frac{F}{W} = \frac{F}{A \cdot l} = \gamma_w \cdot \frac{\Delta h}{l} = \gamma_w \cdot i$$

la force totale de percolation est : $F = \gamma_w \cdot i \cdot W$

$$= \gamma_w \cdot i \cdot A \cdot l$$

$$= \gamma_w \frac{\Delta h}{l} \cdot A \cdot l$$

$$= \gamma_w \cdot \Delta h \cdot A$$

force dont il faut tenir compte aussi longtemps qu'elle ne soit négligeable devant les autres forces utilisées pour l'essai (pour tendre l'échantillon pour le cas qui nous concerne).

$$F = \gamma_w \cdot \Delta h \cdot A$$

Pour :

$$A = 25 \text{ cm}^2 = 2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\gamma_w = 9810 \text{ N/m}^3$$

$$F = 9810 \times 2.5 \times 10^{-3} \times \Delta h$$

$$= 24.525 \cdot \Delta h, \quad \Delta h \text{ en metre}$$

B. FILTRATION.

Le rôle de filtre joué par les géotextiles consiste à retenir les éléments fins du sol qui auraient tendance à être emportés par l'écoulement. L'efficacité du filtre se mesure donc par sa capacité à retenir les éléments fins tout en permettant à l'écoulement de se faire convenablement. L'appareillage que nous devons mettre sur pied doit alors permettre de mesurer quantitativement et qualitativement les particules qui passeraient à travers un échantillon donné pour un sol déterminé traversé par un écoulement.

D. APPAREILLAGE

Le rôle de notre appareillage étant de permettre la détermination du coefficient de perméabilité et les propriétés filtrantes des non-tissés sous des conditions expérimentales qui se rapprochent le plus possible de celles d'utilisation, un certain nombre d'exigences devraient nous guider :

- l'échantillon doit être à l'état bidimensionnel de tension. un moyen de tension de l'échantillon dans les deux directions avec une contrainte bien connue est nécessaire; Ceci, avant même que l'écoulement ne traverse la membrane.
- Une tête hydraulique au dessus de l'échantillon.
- Un récipient pour recueillir le volume d'eau qui passe à travers l'échantillon en un intervalle de temps connu.
- le dispositif expérimental doit être démontable et transparent si possible pour permettre une meilleure récupération des éléments fins après l'essai de filtration.

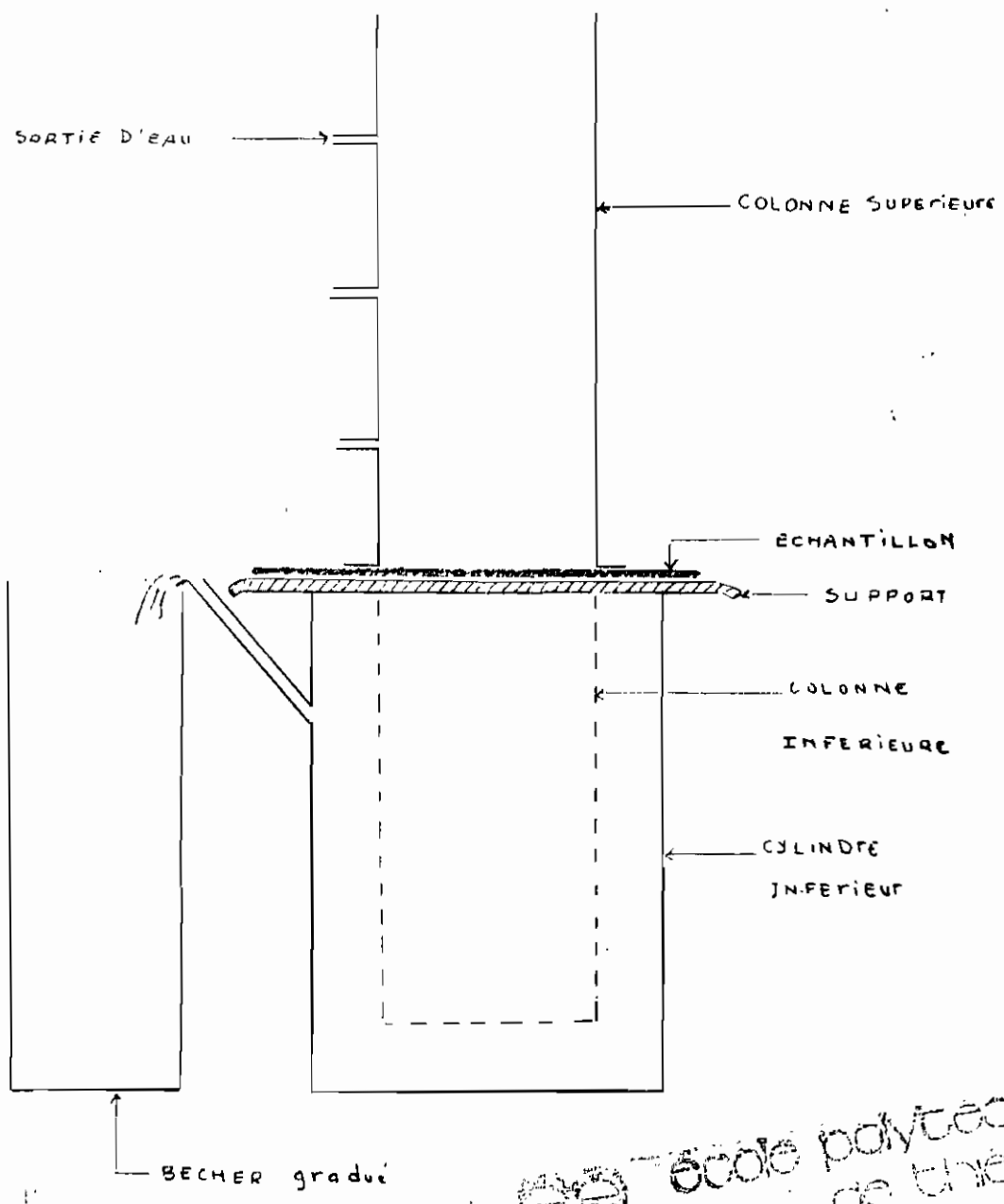
1. Présentation générale de l'appareillage

A la lumière des exigences ci-dessus, nous présentons un dispositif expérimental composé de :

- un réservoir supérieur muni d'une entrée d'eau et de plusieurs sorties situées à des niveaux différents pour pouvoir varier la hauteur de la colonne d'eau. Ce réservoir est de section carrée de 50 x 50 mm et est fait en plexiglass.
- Un support métallique sur lequel repose l'échantillon puis le réservoir supérieur. Ce support est solidaire à un

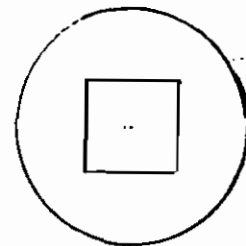
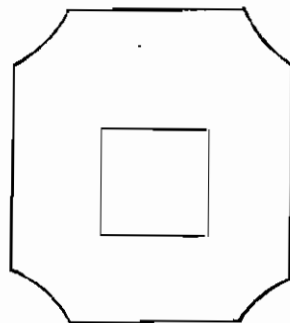
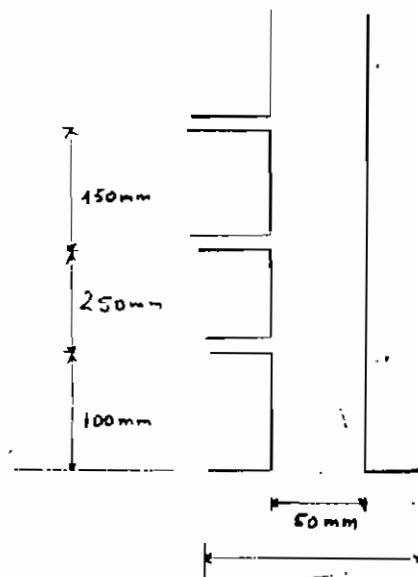
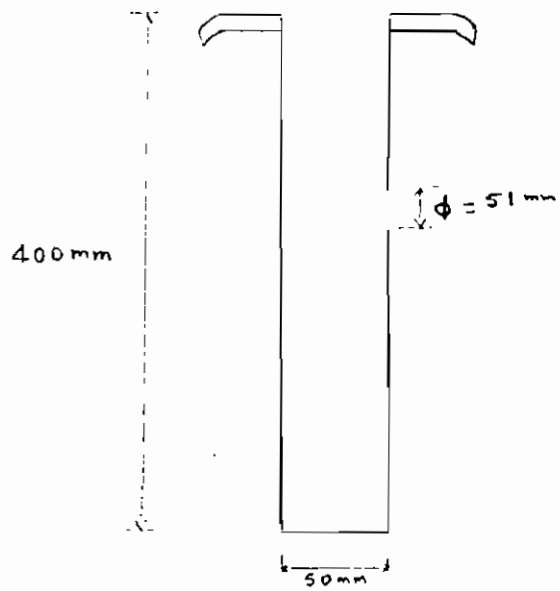
un réservoir inférieur de même forme et de même dimension que celui supérieur. Ce réservoir inférieur est muni d'un trou de 20 cm^2 pour permettre à l'eau traversant la membrane de se déverser dans un autre cylindre de diamètre sur lequel repose le support. Ce cylindre est muni d'une sortie d'eau par conduite de section 12 cm^2 et dont l'élévation correspond au niveau inférieur de l'échantillon. Cette sortie d'eau permet de récupérer le de d'eau qui percole à travers la membrane.

Pour plus de clarté, nous présentons ci-dessous les schémas d'ensemble de l'appareillage et ceux des différentes parties.



École polytechnique
de thèse

SCHEMA D'ENSEMBLE DE L'APPAREILLAGE

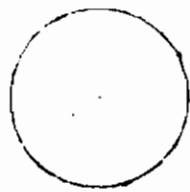
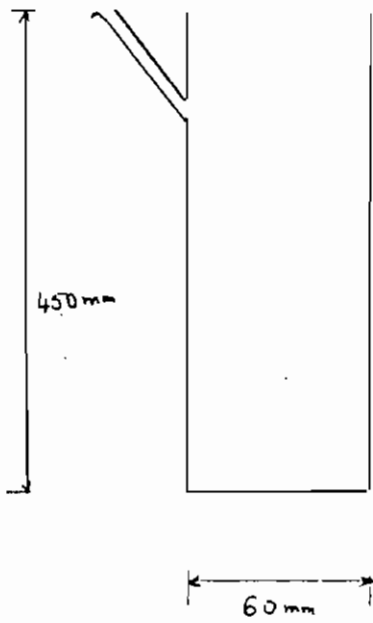


COLONNE INFERIEURE

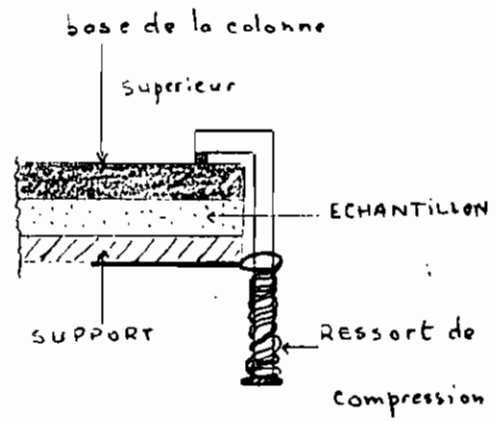
+ SUPPORT

COLONNE

SUPERIEURE



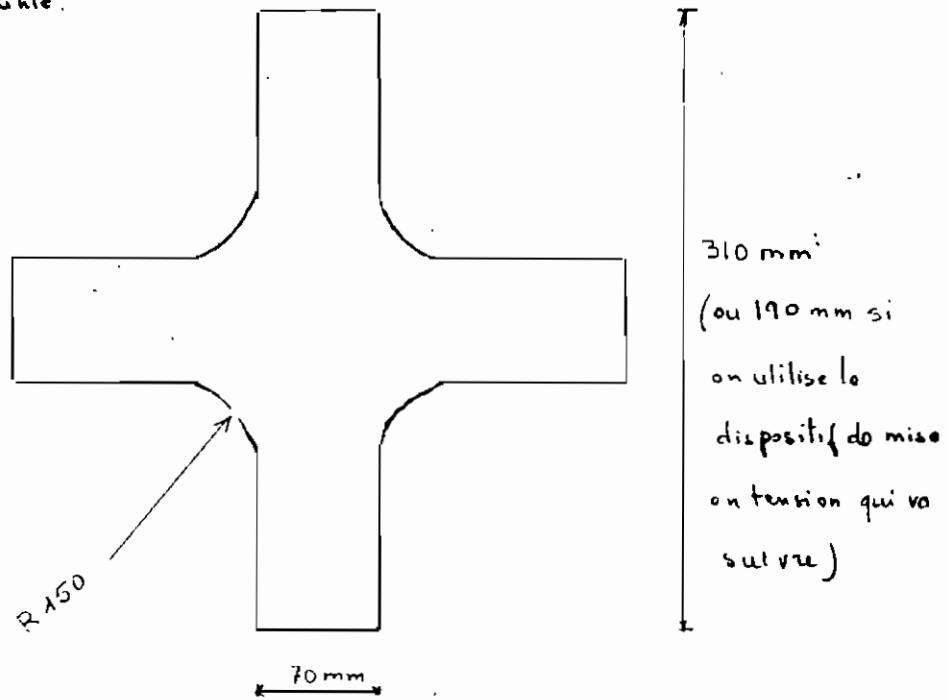
CYLINDRE
INFERIEUR



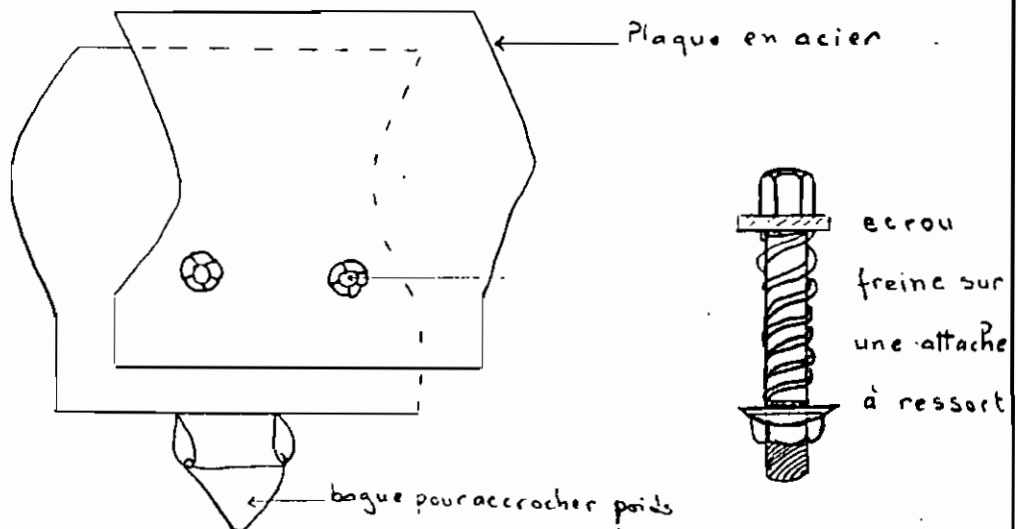
DISPOSITIF
D'ATTACHE

2. PRÉPARATION DE L'ÉCHANTILLON

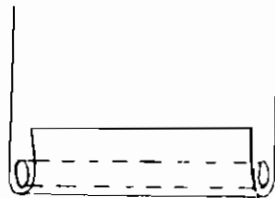
L'échantillon doit être découpé de telle sorte que la contrainte linéaire qui s'exerce dans chaque direction soit transmise fidèlement et uniformément dans la zone de 50x50mm utile pour l'étude. Pour cela, on utilise des échantillons de la forme suivante pour éviter au maximum les concentrations de contrainte.



nous utilisons également des agrafes de la forme suivantes



on enrole l'extremite de l'échantillon autour d'une tige en acier avant de l'insérer dans l'aigrafe



3. DISPOSITIF DE MISE EN TENSION

L'appareil que nous venons de présenter est fait pour supporter des charges maximales de 40 kilogrammes (10 kg par branche du support). Quand on sait que les géotextiles ont une résistance à la traction ultime de l'ordre de 37 kgf/cm de largeur, on comprend bien que des améliorations s'imposent. Ainsi nous avons pensé à un autre système qui pourrait permettre la mise en tension adéquate des échantillons.

Il s'agit d'un cadre rigide formé de 4 cornières de L50 x 50 x 5 mm soudées. Avec 3 ressorts de compression de chaque côté, on réalise un dynamomètre qui permet par la compression des ressorts de mesurer la force appliquée.

Ce système est explicité par les schémas qui suivent. La constante de raideur du ressort a été déterminée grâce à des mesures expérimentales avec un tensiomètre, à partir de la courbe contrainte - déformation. Nous obtenons 2 valeurs pour la constante de raideur, soient :

$$K_1 = 18,52 \text{ kgf/cm} \\ = 18,52 \text{ N/mm de déformation}$$

pour des déformations du ressort inférieures à 16,8 mm

$$K_2 = 21,05 \text{ N/mm de déformation}$$

pour des déformations comprises entre 16,8 mm et 36,8 mm.

Pour chaque ressort, la force appliquée est :

$$F = k x$$

F : force appliquée

k : constante de raideur du ressort

x : déformation du ressort

Nous avons couplé 3 ressorts pour chaque côté, ce qui nous donne une force appliquée de $F = 3.k.x$

Valeur de F pour x en mm

$0 < x \leq 16,8 \text{ mm}$	$16,8 < x < 35,8 \text{ mm}$
$F = 3.k_1.x$ $= 3 \times 18,52.x$ $= 54,6.x \text{ (N)}$ $F = \frac{54,6 \cdot x}{1000} \text{ (kN)}$	$F = 3 [k_1 \cdot 16,8 + k_2 (x - 16,8)]$ $= 3 [18,52 \times 16,8 + 21,05 (x - 16,8)]$ $= 933,408 + 63,15 x - 1069,92 \text{ (N)}$ $F = \frac{63,15 x - 127,51}{1000} \text{ (kN)}$

Pour une largeur d'échantillon de 70 mm, comme nous proposons, on aura une contrainte linéaire de :

$$\frac{54,6 \times 1000 x}{70 \times 1000} = 0,78 x x \text{ (kN/m de largeur) si } 0 < x \leq 16,8 \text{ mm}$$

$$\frac{63,15 \times 1000 x - 127,51 \times 1000}{70 \times 1000} = 0,902 x - 1,822 \text{ (kN/m)}$$

pour $16,8 < x < 35,8 \text{ mm}$

x étant la déformation mesurée en millimètres.

Ce qui permet d'atteindre des forces de traction allant jusqu'à $0,902 \times 35,8 - 1,822 = 30,47 \text{ kN/m de largeur}$.

MATERIAL :-

25

TEST REF. No. :-

COMPOSITION :-

FROM :-

TREATMENT :-

TEST PIECE :- 1

RESULTS :-

REMARKS :-

SIGNATURE :-

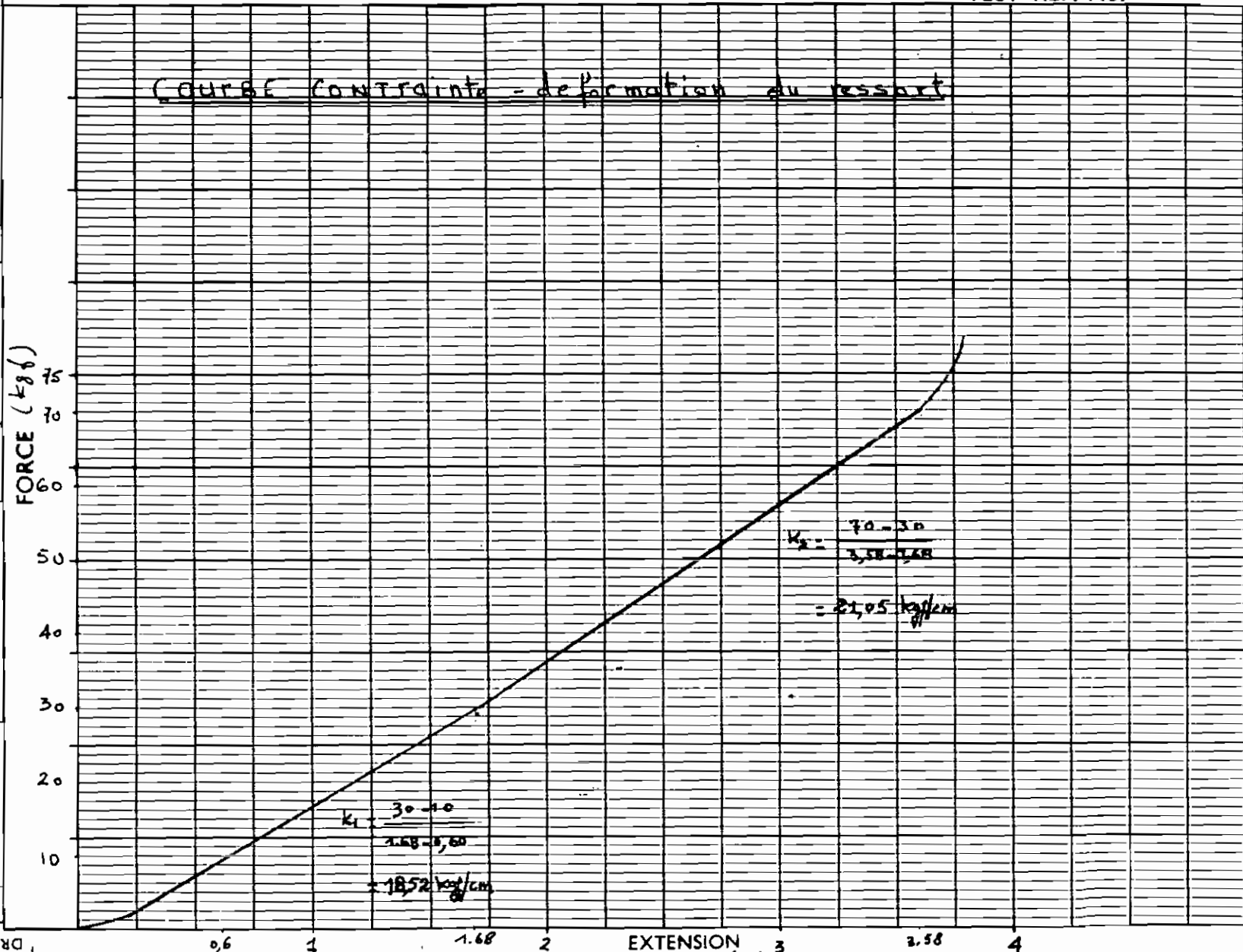
BEAM :-

GRIPS :-

MAGNIFICATION :- 16, 8, 4, 2 to 1

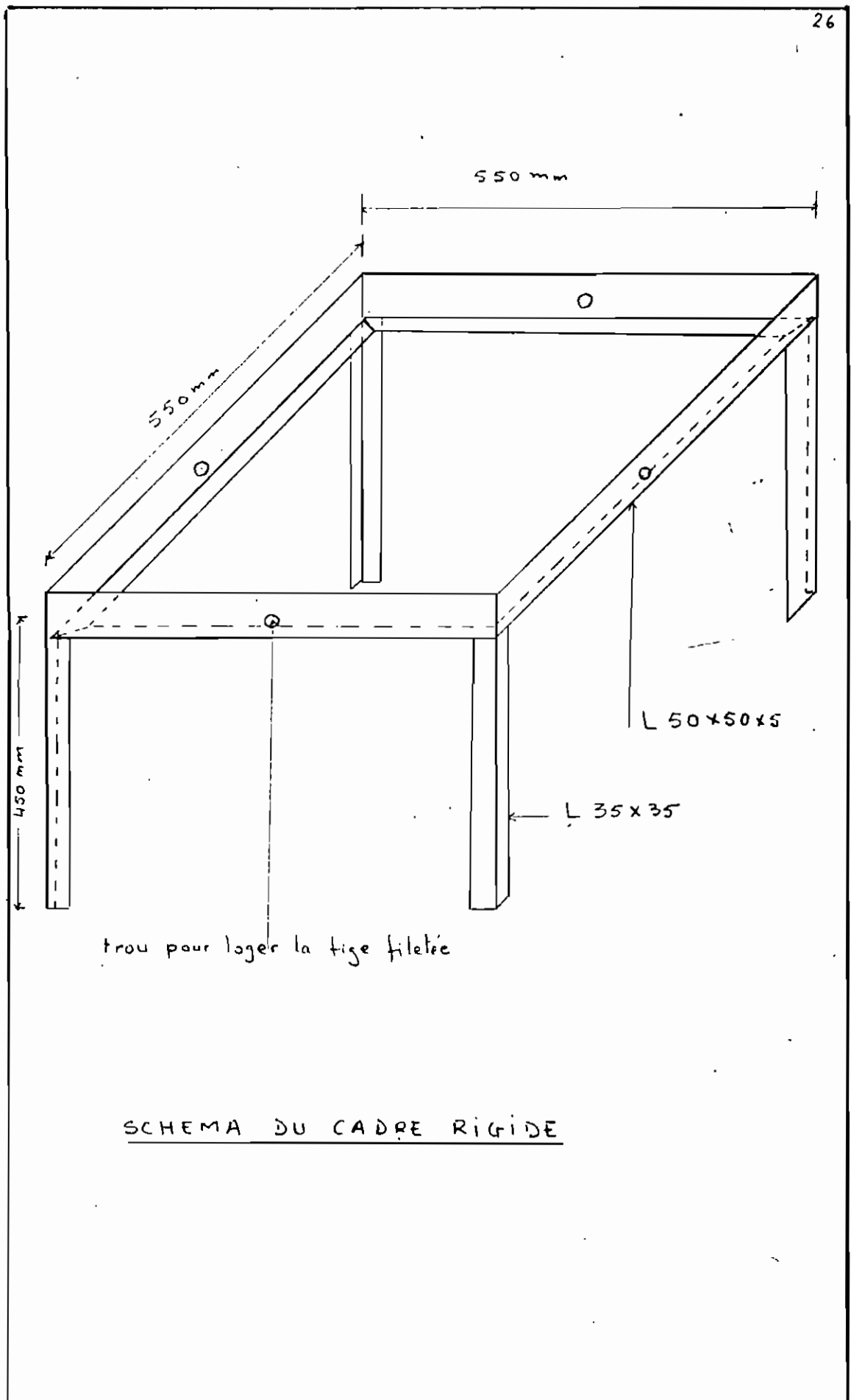
DATE :- 20 - 3 - 2000

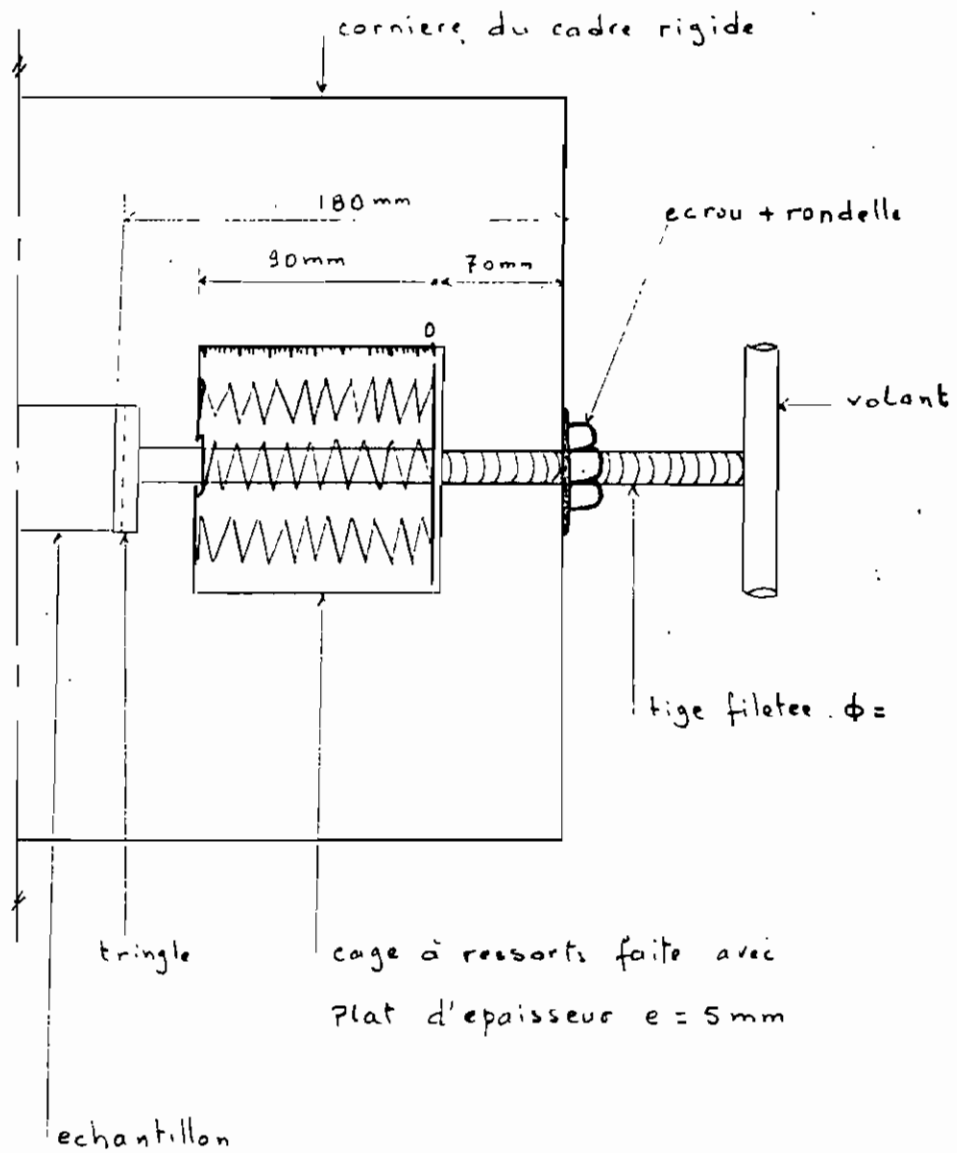
DRUM
NI
LOT



MONSANTO SWINDON, WILTSHIRE, ENGLAND

WHEN RE-ORDERING QUOTE A260-





SCHEMA du DYNAMOMETRE

CHAPITRE IV

ESSAIS DE PERMEABILITE

ET DE FILTRATION

A. ESSAI DE PERMEABILITE

1. Procédure Experimentale

Pour réaliser une tête hydraulique acceptable pour l'essai, nous avons utilisé un banc hydraulique afin d'avoir :

- une pression suffisante qui permettrait d'obtenir la tête hydraulique nécessaire (notons que le banc dispose d'une pompe et d'un réservoir d'eau et l'eau suit un circuit fermé)
- de mieux permettre la prise de mesures. En effet l'eau qui passe à travers l'échantillon est récupérée dans un réservoir conçu de telle sorte que le niveau de l'eau dans ce réservoir monte graduellement et le volume est obtenu par simple lecture.

La procédure suivante doit être suivie :

- Placer le cylindre inférieur puis y joindre le support, tout en s'assurant de la parfaite étanchéité entre les deux. Pour cela nous avons utilisé du mastic comme adhésif. Ce mastic présente l'avantage de ne pas durcir vite, ainsi nous pouvons déconnecter ces deux éléments à temps voulu.

- Prendre l'échantillon déjà découpé suivant la forme mentionnée pour y étaler une couche de graisse sur les deux faces et ceci tout autour de la zone prévue pour l'essai (25cm^2), puis le placer sur le support. Ainsi, on évite les fuites d'eau latérales.

- Tendre l'échantillon en y accrochant les poids et avec le pied-à-coussin mesurer l'épaisseur de l'échantillon.

- Installer la colonne supérieure en s'assurant que l'orifice de celle-ci et celle du support coïncident bien ; pour ceci

s'assurer que les rainures prévues pour cela au niveau du support et de la base de la colonne supérieure coïncident.

- Placer convenablement le dispositif d'attache.

- Installer la conduite d'arrivée d'eau. Nous avons utilisé le non-tissé "Penroad 50" comme filtre que nous avons placé en aval de la pompe au lieu de jonction de la conduite d'amenée d'eau que nous avons utilisée. Cette conduite a été trouée le long de sa partie qui pénètre dans la colonne supérieure et son bout est obstrué, ceci pour éviter le phénomène de jet d'eau et de dissiper l'énergie cinétique à la sortie de la conduite. Le filtre en aval de la pompe est utilisé pour filtrer l'eau qui arrive à l'échantillon et éviter ainsi le colmatage qui diminue la perméabilité du géotextile. En effet, l'eau du robinet contient des sels et le réservoir du banc hydraulique ne permet pas d'avoir une eau exempte de particules en suspension et autres... le filtre doit être changé régulièrement du fait que le "Penroad 50" se colmate lui aussi et de ce fait la tête hydraulique nécessaire pour l'essai ne pourrait pas être maintenue.

- Mettre en marche la pompe ; régler le niveau d'eau dans la colonne afin d'avoir la tête hydraulique voulue ; s'assurer que l'eau qui sort par la sortie d'eau retourne dans le grand réservoir sans être comptabilisée par le deuxième réservoir qui permet de mesurer l'eau qui passe à travers l'échantillon. Récupérer l'eau qui passe à travers l'échantillon dans le deuxième réservoir puis lire ce volume d'eau pour un temps déterminé.

2. ETALONNAGE de l'APPAREIL

La perméabilité de l'échantillon a pour valeur:

$$k_v = \frac{Q}{A} \frac{e}{h}$$

avec k_v : coefficient de perméabilité (m/sec)

Q : débit mesuré (m³/sec)

e : épaisseur de l'échantillon (m)

h : perte de charge dans l'échantillon (m)

La perte de charge h dans l'échantillon est calculée en étant la perte de charge due à l'appareillage pour le débit mesuré; ceci grâce à la courbe d'étalonnage qui donne le débit s'écoulant dans l'appareil à vide (sans échantillon) en fonction de la charge hydraulique qui lui est appliquée.

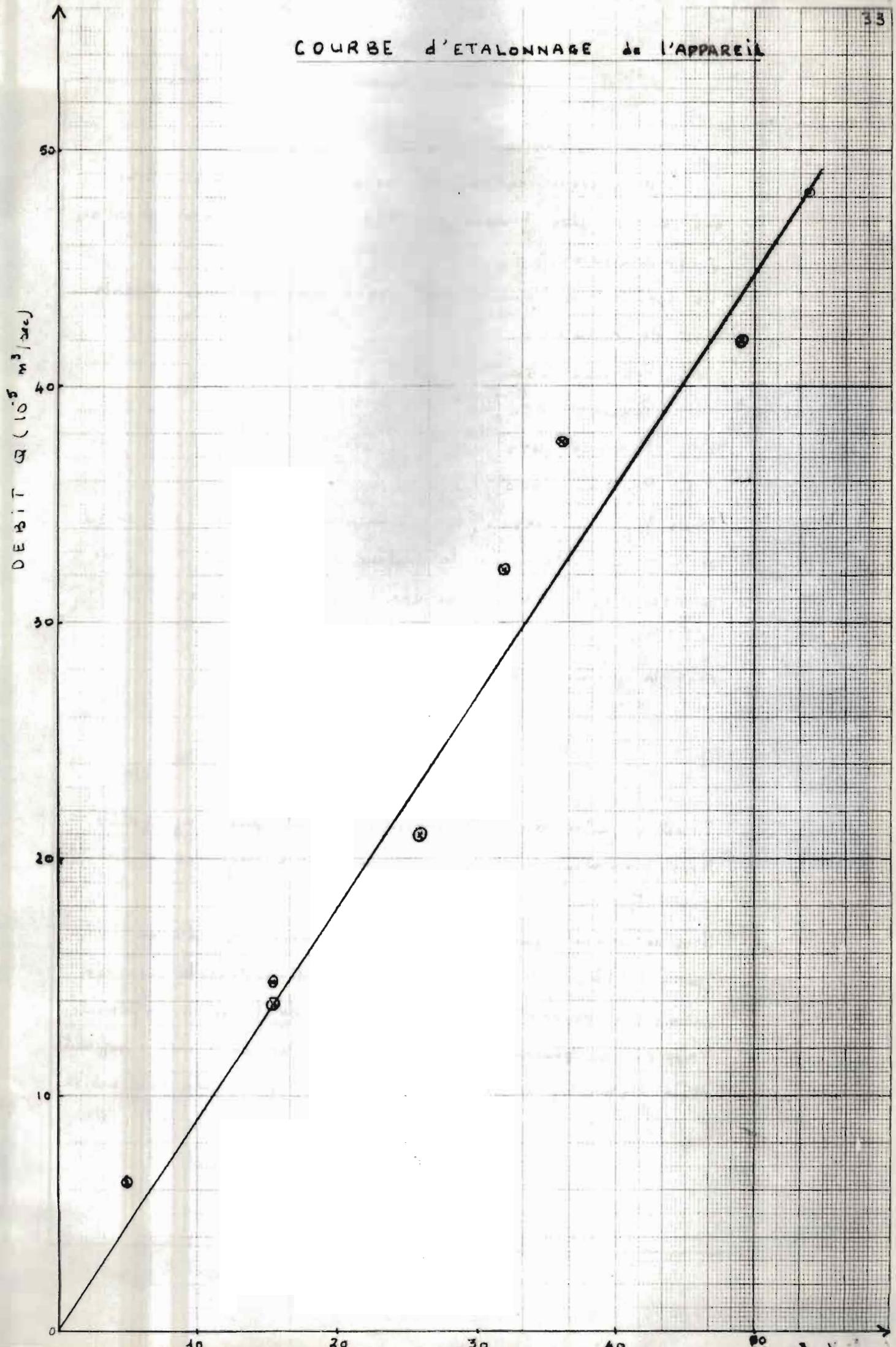
Cette correction suppose qu'il n'y a pas modification des lignes d'écoulement lorsque l'échantillon étudié est dans l'appareil, et donc que, pour les mêmes débits, les vitesses sont les mêmes en tout point de l'appareillage.

Nous présentons ci-après le tableau de mesures et des résultats ainsi que la courbe d'étalonnage de l'appareil.

TABLE 1 : MESURES et des RESULTATS pour ETALONNAGE de l'APPAREIL

volume ($10^{-3} m^3$)	2	7	2	7	6	4	4	4
temps (sec)	13"54	50"71	9"46	32"01	18"61	10"61	9"52	2"30
charge hydraulique ($10^{-3} m$)	15.5	15.5	26	26	32	36	49	54
debit ($10^{-5} m^3/sec$)	14.8	13.8	21.1	21.9	32.2	37.7	42	48.2

COURBE d'ETALONNAGE de l'APPAREIL



3. ESSAIS.

Nous avons réalisé des essais sur des échantillons non tendus puis tendus de 221 N/m dans deux directions perpendiculaires.

Les échantillons étudiés sont issus des non-tissés suivants :

- Penroad 150
- Penroad 250
- Penroad 350
- Penroad 450
- Penroad 550

Dans tous les essais, la température est notée (θ), ce qui permet de déterminer le facteur de correction R_θ pour la viscosité de l'eau pour une température donnée.

La table de l'annexe donne ce facteur R_θ .

Ainsi la perméabilité à 20°C est donnée par :

$$K_{20} = K_\theta \times R_\theta$$

Il est à noter que cette correction n'est pas négligeable. Nous présentons ci-après les tableaux de mesures et de résultats pour les différents essais.

Nous ne sommes pas en mesure de tracer des courbes perméabilité en fonction des tensions bidimensionnelles exercées faute de pouvoir exercer une gamme de tensions suffisante, l'appareil ne pouvant pas encore supporter de tensions suffisantes et le dispositif le permettant étant en phase de réalisation.

échantillon	Volume	Temps	du bit	toto	Parts de charge due à l'appareil	Parts de charge due à l'échantillon	temperature	Epaisseur échantillon	Perméabilité $\delta \theta$	R_g	Perméabilité $\delta 20^\circ C$
N°	V ($10^3 m^3$)	t (sec)	Q ($10^3 m^3/k$)	$\Delta h (10^3 m)$	$\Delta h' (10^3 m)$	h ($10^3 m$)	θ (°C)	e ($10^3 m$)	$K_g (10^2 m/sec)$		$K_{20} (10^2 m/sec)$
1	2	14"60	0,172	100	19	81	23.5	2.45	0,208	0,920	0,191
	6	34"56	0,174	100	19	81	23.5	2.45	0,211	0,920	0,194
	10	61"20	0,163	100	18	82	23.5	2.45	0,195	0,920	0,173
2	2	10"60	0,189	100	21.5	78.5	23.5	2.40	0,231	0,920	0,213
	7	43"18	0,166	100	18.5	81.5	23.5	2.40	0,196	0,920	0,180
	6	24"63	0,173	100	19	81	23.5	2.40	0,205	0,916	0,189

Table 2 : Penroad 150 non tendu

Échantillon	Voluma V ($10^{-3} m^3$)	temps t (sec)	debit Q ($10^{-3} m^3/s$)	tête hydraulique Δh ($10^{-3} m$)	Perte de charge due à l'appareil $\Delta h'$ ($10^{-3} m$)	Perte de charge due à l'échantillon h ($10^{-3} m$)	température θ ($^{\circ}C$)	Épaisseur échantillon e ($10^{-3} m$)	Perméabilité à θ K_{θ} ($10^{-2} m/sec$)	R_{θ}	Perméabilité à $20^{\circ}C$ K_{20} ($10^{-2} m/sec$)
1	2	2"98	0,223	100	25	75	23.5	2.0	0,238	0,920	0,219
	6	25"17	0,238	100	26	74	23.5	2.0	0,257	0,920	0,236
2	2	13"96	0,143	100	19	81	23.5	1.90	0,134	0,920	0,123
	5	35"15	0,142	100	19	81	23.5	1.90	0,134	0,920	0,123
	10	74"04	0,135	100	18	82	23.5	1.90	0,125	0,920	0,115

Table 3 : Perméabilité 150 tendu de 821 N/m dans deux directions \perp

Les échantillons
sont tous au même état
de saturation (100%)
avec 100% d'eau

Echantillon N°	Volume V ($10^{-3} m^3$)	temps t ($''$ Sec)	debit Q ($10^{-3} m^3/s$)	tête hydraulique Δh ($10^{-3} m$)	Perte de charge due à l'appareil $\Delta h'$ ($10^{-3} m$)	Perte de charge due à l'échantillon h ($10^{-3} m$)	température θ ($^{\circ}C$)	épaisseur échantillon e ($10^{-3} m$)	Perméabilité $\alpha = \theta$ k_0 ($10^{-2} m/sec$)	R_0	Perméabilité à $20^{\circ}C$ k_{20} ($10^{-2} m/sec$)
1.	2	7"60	0,263	100	29	71	24	2.15	0,319	0,910	0,290
	5	20.65	0,242	100	27.5	72.5	24	2.15	0,287	0,910	0,261
	8	32.55	0,246	100	28	72	24	2.15	0,294	0,910	0,268
2	5	18.79	0,266	100	29	71	24	2.10	0,315	0,910	0,287
	2	7"29	0,270	100	30	70	24	2.10	0,329	0,910	0,299
	8	30"47	0,263	100	29	71	24	2.10	0,311	0,910	0,283
3	5	19"32	0,259	100	29	71	24	2.15	0,313	0,910	0,285
	8	31"23	0,256	100	28.5	71.5	24	2.15	0,308	0,910	0,280
	11	43"81	0,251	100	28	72	24	2.15	0,300	0,910	0,273

Table 4 : Penroad 250 non tendu

échantillon N°	Volume V ($10^{-3} m^3$)	temps t (sec)	débit Q ($10^{-3} m^3/s$)	tête hydraulique Δh ($10^3 m$)	Perte de charge due à l'appareil $\Delta h'$ ($10^3 m$)	Perte de charge due à l'échantillon h ($10^3 m$)	Température θ (°C)	Épaisseur échantillon e ($10^{-3} m$)	Perméabilité à θ K ($10^{-2} m/s$)	R θ	Perméabilité à 20°C K ₂₀ ($10^{-2} m/s$)
1	2	9''42	0,212	100	24	76	24	1,95	0,218	0,910	0,198
	5	30''88	0,239	100	27	73	24	1,95	0,255	0,910	0,232
2	2	7''42	0,270	100	31	69	24	1,95	0,305	0,910	0,278
	5	19''36	0,258	100	28	72	24	1,95	0,280	0,910	0,255
3	2	31''87	0,251	100	27,5	72,5	24	1,95	0,270	0,910	0,246
	5	21''33	0,234	100	26,5	73,5	24	1,95	0,248	0,910	0,226
8	2	7''96	0,251	100	27,5	72,5	24	1,95	0,270	0,910	0,246
	5	34''62	0,231	100	26	74	24	1,95	0,243	0,910	0,221

Table 5 : Permead 250 tendu de 821 N/m dans deux directions L

Echantillon	Volume	haupf	debit	tete hydraulique	Perte de charge due à l'appareil	Perte de charge due à l'échantillon	Egarement	temp. de l'eau	Perméabilité à θ	R ₀	Perméabilité à 20°C
N°	V (10 ³ m ³)	t (sec)	Q (10 ³ m ³ /sec)	Δh (10 ³ m)	$\Delta h'$ (10 ³ m)	h (10 ³ m)	e (10 ³ m)	θ (°C)	K_{θ} (10 ² m/sec)		K_{20} (10 ² m/sec)
1	2	41"14	0,180	100	20	80	2.70	24	0,243	0,910	0,221
	4	22"84	0,175	100	20	80	2.70	24	0,235	0,910	0,215
	6	35"73	0,171	100	19	81	2.70	24	0,228	0,910	0,207
2	2	10"10	0,198	100	22	78	2.70	24	0,274	0,910	0,249
	4	20"27	0,197	100	22	78	2.70	24	0,273	0,910	0,248
	6	30"97	0,194	100	21	79	2.70	24	0,265	0,910	0,241
3	2	10"51	0,190	100	21	79	2.60	24	0,250	0,910	0,228
	4	20"63	0,194	100	21.5	78.5	2.60	24	0,257	0,910	0,234
	6	31"20	0,192	100	21.5	78.5	2.60	24	0,254	0,910	0,231

Table 6 : Penroad 350 non tendu

Echantillon N°	Volume V ($10^{-3} m^3$)	temps (sec)	debit Q ($10^{-3} m^3/s$)	tête hydraulique Δh ($10^3 m$)	Perte de charge due à l'appareil $\Delta h'$ ($10^3 m$)	Perte de charge due à l'échantillon h ($10^{-3} m$)	temperature θ (°C)	Epaisseur échantillon e ($10^{-3} m$)	Perméabilité à θ K_{θ} ($10^{-2} m/s$)	R_{θ}	Perméabilité à 20°C K_{20} ($10^{-2} m/s$)
1	2	10"26	0,195	100	22	78	24	2.45	0,245	0,910	0,223
	4	19"82	0,202	100	23	77	24	2.45	0,257	0,910	0,234
	6	29"75	0,202	100	23	77	24	2.45	0,257	0,910	0,234
2	2	9"81	0,206	100	23	77	24	2.45	0,260	0,910	0,237
	5	24"23	0,206	100	23.5	76.5	24	2.45	0,264	0,910	0,240
	7	34"34	0,206	100	23	77	24	2.45	0,260	0,910	0,237
3	2	8"78	0,228	100	25	75	24	2.35	0,286	0,910	0,260
	4	17"91	0,223	100	24.5	75.5	24	2.35	0,278	0,910	0,253
	6	27"18	0,221	100	24.5	75.5	24	2.35	0,275	0,910	0,250

Table 7 : Penroad 350 tendu de 821 N/m dans deux directions \perp

Echantillon N°	Volume V ($10^{-3} m^3$)	temps t (Sec)	debit Q ($10^{-3} m^3/kg$)	tête hydraulique Δh ($10^3 m$)	Perte de charge due à l'appareil $\Delta h'$ ($10^3 m$)	Perte de charge due à l'échan- -tillon h ($10^3 m$)	température θ ($^{\circ}C$)	Epaisseur échantillon e ($10^{-3} m$)	Perméabilité à θ k_{θ} ($10^{-2} m/s$)	R_{θ}	Perméabilité à $20^{\circ}C$ k_{20} ($10^{-2} m/sec$)
1	2	13" 72	0,146	100	16	84	23.5	3.20	0,222	0,920	0,204
	4	28" 72	0,139	100	15.5	84.5	23.5	3.20	0,211	0,920	0,194
	6	44" 33	0,135	100	15	85	23.5	3.20	0,203	0,920	0,187
2	2	12" 60	0,159	100	18	82	23.5	3.25	0,252	0,920	0,232
	5	31" 93	0,157	100	18	82	23.5	3.25	0,249	0,920	0,229
	2	51" 57	0,155	100	17.5	82.5	23.5	3.25	0,244	0,920	0,224
3	2	14" 01	0,143	100	16	84	23.5	3.25	0,221	0,920	0,203
	4	28" 40	0,141	100	15.5	84.5	23.5	3.25	0,217	0,920	0,200
	6	43" 73	0,137	100	15	85	23.5	3.25	0,210	0,920	0,193

TABLEAU 8 : PENROAD 450 NON TENDU

Echantillon N°	Volume ($10^{-3} m^3$)	temps t (sec)	debit Q ($10^{-3} m^3/sec$)	tête hydraulique Δh ($10^{-3} m$)	Perte de charge due à l'appareil $\Delta h'$ ($10^{-3} m$)	Perte de charge due à l'échantillon h ($10^{-3} m$)	température θ (°C)	épaisseur échantillon e ($10^{-3} m$)	Perméabilité à θ K_{θ} ($10^{-2} m/sec$)	R_{θ}	Perméabilité à 20°C K_{20} ($10^{-2} m/sec$)
1	2	13"20	0,152	100	20.5	79.5	23.5	3.10	0,237	0,920	0,218
	4	26"74	0,151	100	20.5	79.5	23.5	3.10	0,234	0,920	0,215
2	2	13"13	0,152	100	20.5	79.5	23.5	3.10	0,237	0,920	0,218
	5	33"06	0,151	100	20.5	79.5	23.5	3.10	0,236	0,920	0,217
3	2	13"38	0,149	100	20	80	23.5	3.10	0,231	0,920	0,213
	4	27"60	0,145	100	19.5	80.5	23.5	3.10	0,223	0,920	0,205
7	4	49"94	0,140	100	19	81	23.5	3.10	0,214	0,920	0,197
	7	49"94	0,140	100	19	81	23.5	3.10	0,214	0,920	0,197

TABLE 9 : PENROAD 450 tendu de 821 N/m dans deux directions 1

N°	Volume ($10^3 m^3$)	temps (sec)	débit Q ($10^3 m^3/sec$)	tête hydraulique Δh ($10^3 m$)	Perte de charge due à l'appareil $\Delta h'$ ($10^3 m$)	Perte de charge due à l'échantillon h ($10^3 m$)	température θ (°C)	Épaisseur échantillon e ($10^3 m$)	Perméabilité à θ K_{θ} ($10^{-2} m/sec$)	R_{θ}	Perméabilité à 20°C K_{20} ($10^{-2} m/sec$)
1	4	25"23	0,158	100	17	83	24	3.65	0,281	0,910	0,256
	6	39"43	0,152	100	16.5	83.5	24	3.65	0,266	0,910	0,242
	8	53"99	0,148	100	16.5	83.5	24	3.65	0,259	0,910	0,238
2	2	12"19	0,164	100	18	82	24	3.65	0,292	0,910	0,266
	4	24"94	0,160	100	18	82	24	3.65	0,285	0,910	0,259
	6	37"90	0,158	100	17	83	24	3.65	0,262	0,910	0,238
3	2	12"20	0,164	100	18	82	24	3.65	0,292	0,910	0,266
	4	24"15	0,166	100	18	82	24	3.65	0,296	0,910	0,269
	6	35"62	0,168	100	18	82	24	3.65	0,299	0,910	0,272

TABLE 10 : PENROAD 550 Non tendu



Échantillon N°	Volume V (10 ⁻³ m ³)	temps t ("sec)	débit Q (10 ⁻³ m ³ /s)	tête hydraulique Δh (10 ⁻³ m)	Perte de charge due à l'appareil Δh' (10 ⁻³ m)	Perte de charge due à l'échantillon h (10 ⁻³ m)	température θ (°C)	épaisseur échantillon e (10 ⁻³ m)	perméabilité σ ^θ K _σ (10 ⁻² cm/sec)	R _θ	perméabilité à 20°C K ₂₀ (10 ⁻² m/sec)
1	2	12"50	0,160	100	18.5	81.5	24	2.95	0,232	0,910	0,211
	5	32"46	0,152	100	17.5	82.5	24	2.95	0,217	0,910	0,197
	7	46"09	0,152	100	17.5	82.5	24	2.95	0,217	0,910	0,197
2	2	12"42	0,155	100	18	82	24	2.95	0,223	0,910	0,203
	4	24"03	0,154	100	18	82	24	2.95	0,223	0,910	0,203
	6	39"07	0,154	100	18	82	24	2.95	0,223	0,910	0,203
3	5	29.64	0,167	100	19	81	24	2.95	0,243	0,910	0,221
	2	11"21	0,178	100	20	80	24	2.95	0,263	0,910	0,239
	6	37"	0,162	100	18.5	81.5	24	2.95	0,234	0,910	0,213

TABLE 11 : PENROAD 550 tendu de 821 N/m dans deux directions ⊥

PENROAD N°	PERMITIVITE $K_z \text{ à } 20^\circ\text{C (s}^{-1}\text{)}$			PERMEABILITE $K \text{ à } 20^\circ\text{C (}$		
	ECHANTILLON N°			ECHANTILLON N°		
	1	2	3	1	2	3
150	0,780	1,521		0,191	0,213	
	0,792	1,286		0,190	0,180	
	0,731	1,35		0,179	0,189	
250	1,349	1,367	1,326	0,290	0,287	0,285
	1,214	1,424	1,302	0,261	0,299	0,280
	1,247	1,348	1,270	0,265	0,283	0,273
350	0,819	0,922	0,877	0,221	0,249	0,226
	0,796	0,919	0,90	0,215	0,248	0,234
	0,767	0,893	0,888	0,207	0,241	0,231
450	0,638	0,710	0,625	0,204	0,232	0,203
	0,606	0,705	0,615	0,194	0,229	0,2
	0,584	0,689	0,594	0,187	0,224	0,193
550	0,701	0,729	0,729	0,256	0,266	0,266
	0,663	0,710	0,737	0,242	0,259	0,269
	0,647	0,655	0,745	0,236	0,239	0,272

TABLE : 12 . RECAPITULATION : ECHANTILLON NON TENDU

TETE HYDRAULIQUE de 100mm

PENROAD N°	PERMITIVITE $K_E \text{ à } 20^\circ\text{C} (\text{s}^{-1})$			PERMEABILITE $K \text{ à } 20^\circ\text{C} (10^{-2} \text{ m/s})$		
	ECHANTILLON N°			ECHANTILLON N°		
	1	2	3	1	2	3
150	1,095	0,647		0,219	0,123	
	1,180	0,647		0,236	0,123	
		0,605			0,115	
250	1,015	1,426	1,262	0,198	0,278	0,246
	1,190	1,308	1,159	0,232	0,255	0,226
	1,062	1,262	1,133	0,207	0,246	0,221
350	0,910	0,967	1,061	0,223	0,237	0,260
	0,955	0,980	1,033	0,234	0,240	0,253
	0,955	0,237	1,020	0,234	0,237	0,250
450	0,703	0,703	0,687	0,218	0,218	0,213
	0,694	0,700	0,661	0,215	0,217	0,205
		0,680	0,635		0,211	0,197
550	0,715	0,688	0,749	0,211	0,203	0,221
	0,668	0,688	0,810	0,197	0,203	0,239
	0,668	0,688	0,722	0,197	0,203	0,213

TABLE: 13 . RECAPITULATION . ECHANTILLON TENDU
de 821 N/m dans deux directions \perp
Tete hydraulique de 100mm

B. ESSAI DE FILTRATION

Nous nous proposons de faire un essai qualitatif de filtration. Pour cela, nous avons utilisé de la laterite dont nous avons retenu, apres tamisage, les passants du tamis ayant une ouverture de mailles de diametre $4,75 \text{ mm}$. Pour avoir le poids sec d'une quantite determinee de cette laterite, nous la faisons secher au four a la temperature de 105°C pendant 1 heure. Un poids de $145,87 \text{ g}$ fut preleve pour constituer une couche de 50 mm d'epaisseur que nous placons au dessus de la membrane "Penroad 250" et nous maintenons une tete hydraulique de 300 mm au dessus de la couche de laterite pendant environ 2 heures.

Nous voulons, pour apprecier l'efficacite du filtre (= membrane geotextile), determiner la quantite de particules fines qui passent a travers. Pour ceci, on peut:

- par decantation, recuperer les particules qui traversent la membrane

- recuperer tout le sol qui n'a pas pu passer a travers la membrane et, apres sechage au four, nous pesons ce sol pour soustraire son poids de celui initial; on determine ainsi la quantite des particules qui ont pu traverser le filtre. Pour cet essai realise nous n'avons pas remarque de particules passant a travers la membrane.

Notons que la membrane n'est pas tendue pour cet essai et le pourcentage de particules passant la tamis 200 (diametre ouverture mailles de $0,075 \text{ mm}$) pour cette laterite etudiee est de $8,03\%$.

Nous avons également réalisé des mesures de débit pour déterminer la perméabilité de la latérite utilisée. On recueille $200 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ en 2 m 30 sec soit 150 sec. d'où :

$$Q = \frac{200 \times 10^{-6}}{150 \text{ sec}}$$

$$A = 25 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \text{et } i = \frac{30}{5} = 6$$

$$K = \frac{Q}{A i}$$

$$K = \frac{200 \times 10^{-6}}{150 \times 6 \times 25 \times 10^{-4}} = 8,9 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$$

$$K \approx 0,9 \times 10^{-2} \text{ cm/sec.}$$

CHAPITRE V

CONCLUSION ET DISCUSSIONS

On devrait s'attendre à voir la perméabilité croître avec l'augmentation de la contrainte de tension ; mais on ne note pas de variations sensibles. Ceci s'explique par la faible contrainte de tension appliquée (0,821 kN/m contre une résistance ultime supérieure à 37 kN/m). Le dispositif de mise en tension conçu permettrait de dépasser ce problème.

Les valeurs du coefficient de perméabilité observées pour les différents échantillons varient entre 0,1 et 0,3 cm/sec, avec de faibles écarts au sein de la plupart des échantillons.

Le tableau donné par Post et Londe dans leur livre sur les barrages en terre et reproduit par H. Varlet ⁽²⁾ montre que la perméabilité de ces membranes géotextiles correspond à celle du sable grossier.

Nature de Terres	Valeurs de D_{20} (en mm)	Valeurs de k (en 10^{-6} m/sec, à 20°C)
Argile	0,005	de 0,0001 à 0,05
Silt	entre 0,005 et 0,05	de 0,05 à 5
Sable très fin	entre 0,05 et 0,10	de 5 à 20
Sable fin	entre 0,10 et 0,25	de 20 à 150
Sable moyen	entre 0,25 et 0,50	de 150 à 1000
Sable grossier	entre 0,50 et 1	de 1000 à 5000
Grovier fin	entre 1 et 2	de 5000 à 20000

Il est prématuré, avec un seul essai qualitatif, de donner une appréciation sur les capacités filtrantes des

non-tissés mais à la lumière de la parfaite rétention des particules fines observée, on pourrait espérer avoir un matériau très adéquat pour l'anticontamination. Les essais devraient se poursuivre pour d'autres sols et d'autres échantillons pour avoir une conclusion fiable.

L'appareillage se prête bien aux essais de filtration, sans problèmes majeurs. Pour les essais de perméabilité des améliorations devraient se faire pour éviter au maximum d'avoir un écoulement turbulent bien qu'il soit assez difficile, pour des appareillages de la sorte, d'avoir un écoulement complètement laminaire à cause des fortes vitesses de décharge constatées avec certaines membranes. Des études de laboratoire, à côté de la recherche des facteurs qui influent sur la perméabilité, ont longtemps porté sur la validité même de la loi de Darcy. On constate que la relation $v = k \cdot i$ est bien vérifiée à l'intérieur d'un certain intervalle de variation du gradient hydraulique (ou de la vitesse de décharge). Beaucoup de chercheurs (Muskat, Franck, Lewis et Barnes, le suédois Lindquist) se sont penchés sur la question qui n'est pas encore tout à fait systématisée. Toujours est-il que l'on constate que, dès l'apparition de la turbulence, on s'écarte de la loi linéaire et certains auteurs ont proposé alors des formules de la forme :

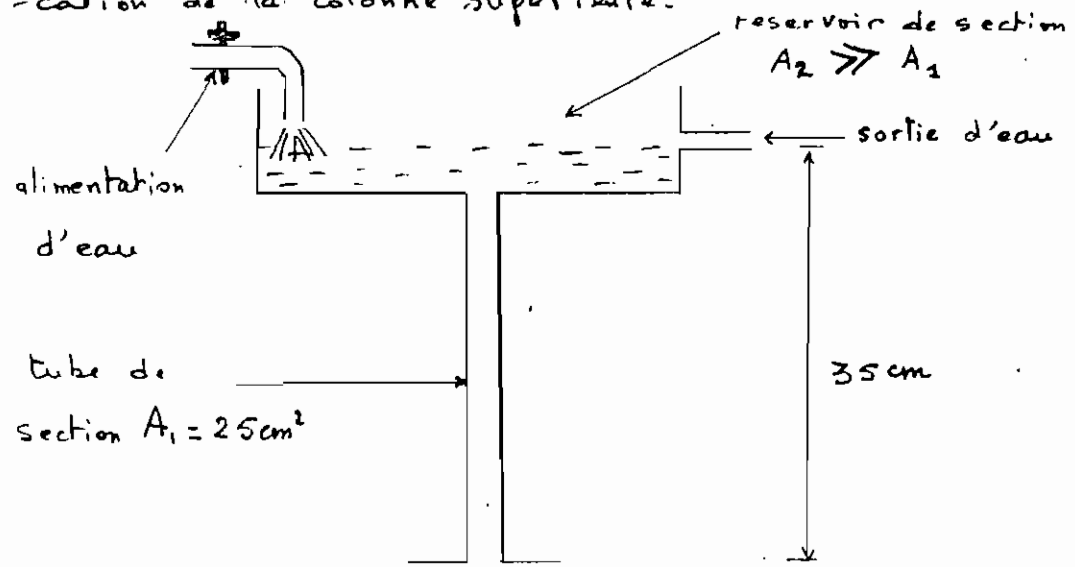
$$i = a v + b v^n$$

Généralement, on choisit pour l'exposant n la valeur 2. Ces formules montrent que dans un régime turbulent la vitesse ^{se} croît plus proportionnellement à la perte de charge.

Comme la loi de Darcy facilitée par sa grande simplicité les calculs théoriques, il est possible d'admettre qu'en pratique son application est pleinement justifiée. Il ne faut pas oublier, en effet, que le manque d'homogénéité, la variation de température qui provoque une modification de la viscosité... doivent conduire nécessairement à des corrections qui, si elles pouvaient être mesurées avec précision, seraient certainement supérieures aux écarts mentionnés ci-dessus.

On retient seulement que la loi de Darcy est une excellente approximation mais qu'elle devient de moins en moins bonne pour les fortes vitesses de décharge.

Pour atténuer voire éliminer l'effet de turbulence, on devrait se pencher sur les améliorations qu'on pourrait apporter à l'appareillage, notamment une modification de la colonne supérieure:



Cette modification a pour intérêt de dissiper au maximum l'énergie cinétique de l'eau d'alimentation et d'offrir un niveau supérieur de l'eau relativement tranquille.

non-tissés mais à la lumière de la parfaite rétention des particules fines observée, on pourrait espérer avoir un matériau très adéquat pour l'anticontamination. Les essais devraient se poursuivre pour d'autres sols et d'autres échantillons pour assoir une conclusion fiable.

L'appareillage se prête bien aux essais de filtration, sans problèmes majeurs. Pour les essais de perméabilité des améliorations devraient se faire pour éviter au maximum d'avoir un écoulement turbulent bien qu'il soit assez difficile, pour des appareillages de la sorte, d'avoir un écoulement complètement laminaire à cause des fortes vitesses de décharge constatées avec certaines membranes. Des études de laboratoire, à côté de la recherche des facteurs qui influent sur la perméabilité, ont longtemps porté sur la validité même de la loi de Darcy. On constate que la relation $v = k \cdot i$ est bien vérifiée à l'intérieur d'un certain intervalle de variation du gradient hydraulique (ou de la vitesse de décharge). Beaucoup de chercheurs (Muskat, Franck, Lewis et Barnes, le suédois Lindsquist) se sont penchés sur la question qui n'est pas encore tout à fait systématisée. Toujours est-il que l'on constate que, dès l'apparition de la turbulence, on s'écarte de la loi linéaire et certains auteurs ont proposé alors des formules de la forme :

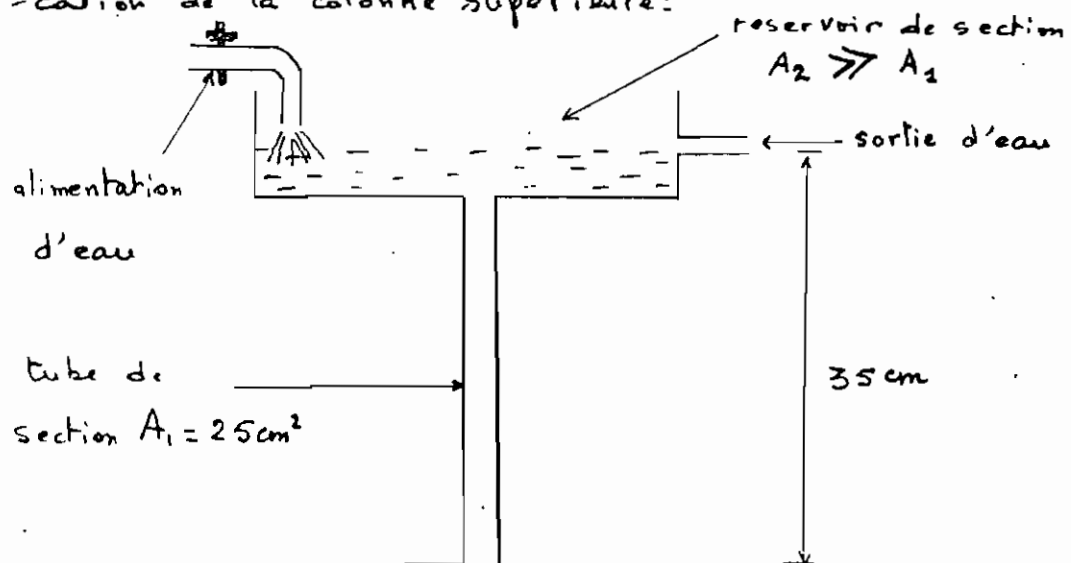
$$i = a v + b v^n$$

Généralement, on choisit pour l'exposant n la valeur 2. Ces formules montrent que dans un régime turbulent la vitesse v croît plus proportionnellement à la perte de charge.

Comme la loi de Darcy facilitée par sa grande simplicité les calculs théoriques, il est possible d'admettre qu'en pratique son application est pleinement justifiée. Il ne faut pas oublier, au effet, que le manque d'homogénéité, la variation de température qui provoque une modification de la viscosité ... doivent conduire nécessairement à des corrections qui, si elles pouvaient être mesurées avec précision, seraient certainement supérieures aux écarts mentionnés ci-dessus.

On retient seulement que la loi de Darcy est une excellente approximation mais qu'elle devient de moins en moins bonne pour les fortes vitesses de décharge.

Pour atténuer voire éliminer l'effet de turbulence, on devrait se pencher sur les améliorations qu'on pourrait apporter à l'appareillage, notamment une modification de la colonne supérieure:



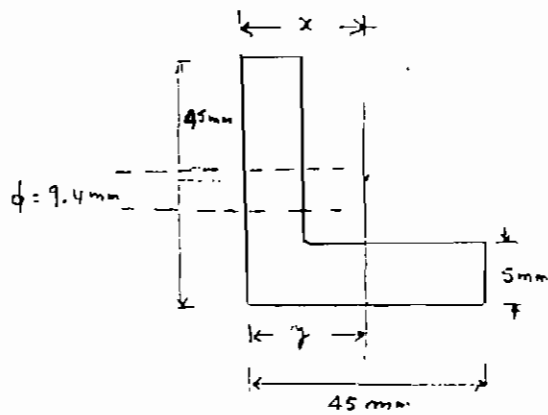
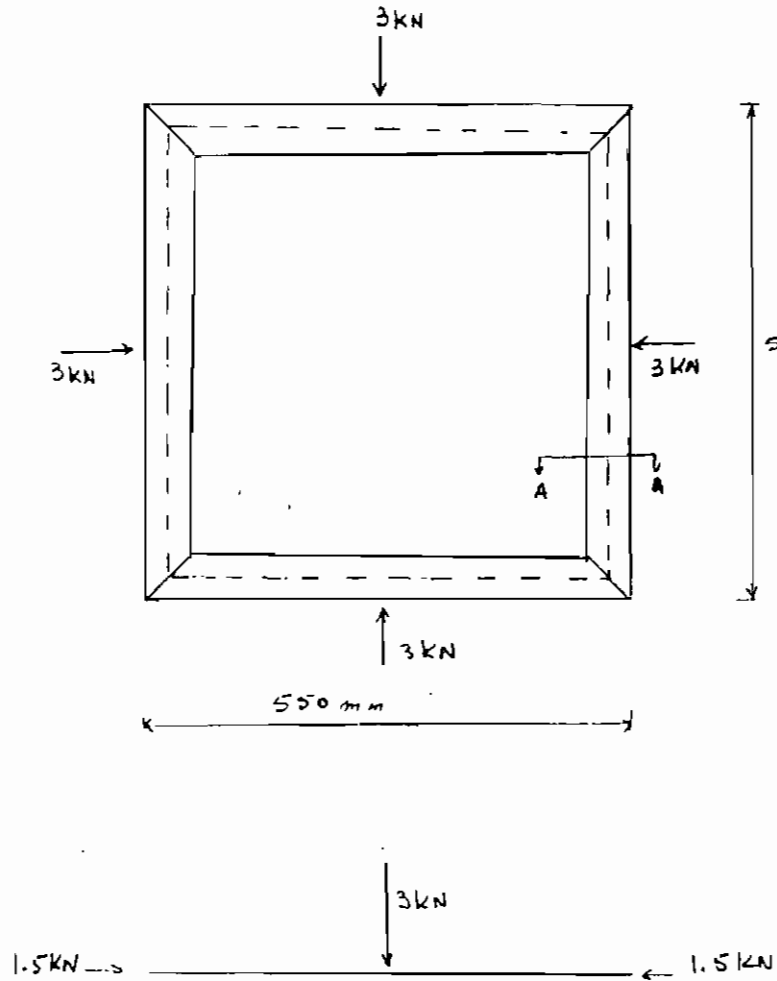
Cette modification a pour intérêt de dissiper au maximum l'énergie cinétique de l'eau d'alimentation et d'offrir un niveau supérieur de l'eau relativement tranquille.

ANNEXE I

Dans cette partie, nous présentons les calculs qui ont permis de dimensionner le cadre rigide du dispositif de mise en tension.

ANNEXE : 1

DIMENSIONNEMENT DU CADRE RIGIDE



Nous disposons ici à l'École de cornières L 50 x 50 x 5 mm qui ne figure pas dans le catalogue, nous faisons donc nos études sur la cornière L 45 x 45 x 5 qui est légèrement de dimensions inférieures.

Nous n'avons aucun renseignement quant à la nature de l'acier, ainsi le code S16.14.78 § 5.2.2 nous suggère de prendre $F_y = 210 \text{ MPa}$

$$A = 425 \text{ mm}^2$$

$$r = 13,8$$

$$S_x = 2,53 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$x = y = 13,1 \text{ mm}$$

le système présente les conditions suivantes

- 1) Déplacement latéral empêché
- 2) les conditions d'extrémité se trouvent entre la rotule et l'encastrement d'où

$$0,5 < k < 1$$

$$\text{prenons } k = 0,80$$

- 3) Les conditions d'appuis se trouvent entre celles de l'appui simple et l'encastrement

$$M_f = \text{entre } \frac{PL}{8} \text{ et } \frac{PL}{4}$$

$$\text{Prenons } M_f = \frac{PL}{6}$$

classe

$$\frac{b}{t} \leq \frac{200}{\sqrt{F_y}}$$

$$\frac{45}{5} \leq \frac{200}{\sqrt{210}}$$

$$9 \leq 13,8 \quad \rightarrow \text{classe 3}$$

$$C_f = 1,5 \text{ kN}$$

$C_r ?$

$$d = \frac{KL}{r} \sqrt{\frac{F_y}{F^2 E}} = \frac{0,8 \times 550}{13,5} \times \sqrt{\frac{210}{F^2 \times 2 \times 10^5}}$$

$$= 32,592 \times 0,0103 = 0,3357 \rightarrow 0 < d < 1$$

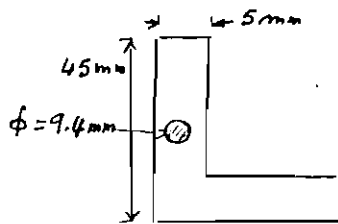
$$C_r = \phi A F_y (1,035 - 0,202d - 0,222d^2)$$

$$= 80325 \times 0,94217$$

$$= 75679,84 \text{ N}$$

$$= 75,68 \text{ kN}$$

Calcul du S_x réduit (influence du trou)



$$\text{Aire du trou} : 9,4 \times 5 = 47 \text{ mm}^2$$

$$\text{Aire de l'aile} : 45 \times 5 = 225 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\text{Aire du trou}}{\text{Aire de l'aile}} \times 100\% = \frac{47}{225} \times 100\% = 20,89\%$$

le code S16-14-76 §15.1 dit que si ce pourcentage excède 15%, il faut alors en tenir compte.

l'excédent est : $20,89 - 15 = 5,89\%$ de l'aire de l'aile

$$= \frac{5,89}{100} \times 225 = 13,25 \text{ mm}^2$$

moment statique de l'aire du trou excédent 15% par rapport au centre de gravité de la section

$$Q_t = 13,25 \left(13,1 - \frac{5}{2} \right) = 121,40 \text{ mm}^3$$

$$S_{x_{\text{reduit}}} = S_x - Q_t$$

$$= 2,53 \times 10^3 - 121,40 = 2408,6 \text{ mm}^3$$

$$M_y = S_{x_n} F_y$$

$$= 2408,6 \times 210$$

$$= 5058,06 \text{ N.m}$$

$$= 0,5058 \text{ kN.m}$$

$$M_f = \frac{3 \times 550}{6} = 275 \text{ kN.m}$$

$$= 0,275 \text{ kN.m}$$

$$M_r = \phi S F_y$$

$$= 0,9 M_y$$

$$= 0,9 \times 0,5058$$

$$= 0,4552 \text{ kN.m}$$

$$a). \frac{C_f}{C_r} + \frac{M_f}{M_r} = \frac{1,5}{75,68} + \frac{0,275}{0,4552} = 0,624 < 1 \text{ o.k.}$$

$$b). \frac{C_f}{C_r} + \frac{w M_f}{M_r \left(1 - \frac{C_b}{C_{ef}}\right)} \quad \text{avec } C_{ex} = 1970000 A / \left(\frac{KL}{\pi}\right)^2 \text{ (N)}$$

$$= 823584 \text{ N}$$

$$\frac{1,5}{75,68} + \frac{0,85 \times 0,275}{0,4552 \left(1 - \frac{1,5}{823,6}\right)}$$

$$0,01982 + 0,5144 = 0,53 < 1 \text{ o.k.}$$

On néglige la vérification de la ruine par flexion et torsion combinées (sections dissymétriques) du fait que les vérifications précédentes montrent que les dimensions sont assez sécuritaires.

La section étant dissymétrique et les formules que nous utilisons restent valables pour des sections doublement symétriques, un coefficient de sécurité appréciable est tout à fait nécessaire.

Notons que l'on pourrait même ne pas tenir compte de l'effet du trou vu que un écoin sera soudé sur la cornière pour recevoir la tige filetée et renforcer également la section.

tige filetée

$$T_f = 3 \text{ kN}$$

$$T_r = \phi A f_y$$

$$= 0,9 A \times 210 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

On doit avoir $T_f \leq T_r$, d'où

$$A \geq \frac{3000}{0,9 \times 210} = 15,87 \text{ mm}^2$$

d'où diamètre $\phi \geq 2,25 \text{ mm}$

Nous prenons une tige de diamètre $\phi = 7,4 \text{ mm}$ qui est disponible et qui évite mieux les problèmes de torsion qui pourraient être liés à l'utilisation.

Table 14

59

Correction Factor, R_T , for Viscosity of Water at Various Temperatures

Temperature Degrees C	Tenths of Degrees									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	1.733	1.777	1.771	1.765	1.759	1.753	1.747	1.741	1.735	1.729
1.0	1.723	1.717	1.711	1.705	1.699	1.694	1.689	1.682	1.676	1.670
2.0	1.664	1.659	1.654	1.648	1.643	1.638	1.632	1.627	1.622	1.616
3.0	1.611	1.606	1.601	1.596	1.590	1.585	1.580	1.575	1.570	1.565
4.0	1.560	1.555	1.550	1.545	1.540	1.535	1.531	1.526	1.521	1.516
5.0	1.511	1.507	1.502	1.498	1.493	1.488	1.484	1.479	1.475	1.470
6.0	1.465	1.461	1.457	1.452	1.448	1.443	1.439	1.435	1.430	1.425
7.0	1.421	1.417	1.413	1.409	1.404	1.400	1.395	1.392	1.388	1.383
8.0	1.379	1.375	1.371	1.367	1.363	1.359	1.355	1.351	1.347	1.343
9.0	1.339	1.336	1.332	1.328	1.324	1.320	1.317	1.313	1.309	1.305
10.0	1.301	1.298	1.294	1.290	1.287	1.283	1.279	1.276	1.272	1.269
11.0	1.265	1.262	1.258	1.255	1.251	1.248	1.244	1.241	1.237	1.234
12.0	1.230	1.227	1.223	1.220	1.217	1.213	1.210	1.207	1.203	1.200
13.0	1.197	1.194	1.190	1.187	1.184	1.181	1.178	1.175	1.171	1.168
14.0	1.165	1.162	1.159	1.156	1.153	1.150	1.147	1.144	1.141	1.138
15.0	1.135	1.132	1.129	1.126	1.123	1.120	1.117	1.114	1.111	1.108
16.0	1.106	1.103	1.100	1.097	1.094	1.091	1.089	1.086	1.083	1.080
17.0	1.077	1.075	1.072	1.069	1.067	1.064	1.061	1.059	1.056	1.053
18.0	1.051	1.048	1.045	1.043	1.040	1.038	1.035	1.033	1.030	1.027
19.0	1.025	1.022	1.020	1.017	1.015	1.012	1.010	1.007	1.005	1.002
20.0	1.000	0.998	0.995	0.993	0.990	0.988	0.985	0.983	0.981	0.979
21.0	0.976	0.974	0.972	0.969	0.967	0.965	0.962	0.960	0.958	0.955
22.0	0.953	0.951	0.949	0.947	0.944	0.942	0.940	0.938	0.936	0.933
23.0	0.931	0.929	0.927	0.925	0.923	0.920	0.918	0.916	0.914	0.912
24.0	0.910	0.908	0.906	0.904	0.901	0.899	0.897	0.895	0.893	0.891
25.0	0.889	0.887	0.885	0.883	0.881	0.879	0.877	0.875	0.873	0.871
26.0	0.869	0.867	0.865	0.864	0.862	0.860	0.858	0.856	0.854	0.852
27.0	0.850	0.848	0.847	0.845	0.843	0.841	0.839	0.837	0.835	0.834
28.0	0.832	0.830	0.828	0.826	0.825	0.823	0.821	0.819	0.818	0.816
29.0	0.814	0.812	0.810	0.809	0.807	0.805	0.804	0.802	0.800	0.798
30.0	0.797	0.795	0.793	0.792	0.790	0.788	0.787	0.785	0.783	0.782
31.0	0.780	0.778	0.777	0.775	0.774	0.772	0.770	0.769	0.767	0.766
32.0	0.764	0.763	0.761	0.759	0.758	0.756	0.755	0.753	0.752	0.750
33.0	0.749	0.747	0.746	0.744	0.743	0.741	0.739	0.738	0.736	0.735
34.0	0.733	0.732	0.731	0.729	0.728	0.726	0.725	0.723	0.722	0.720
35.0	0.719	0.718	0.716	0.715	0.713	0.712	0.711	0.709	0.708	0.705
36.0	0.705	0.704	0.702	0.701	0.699	0.698	0.697	0.695	0.694	0.693
37.0	0.691	0.690	0.689	0.687	0.686	0.685	0.683	0.682	0.681	0.679
38.0	0.678	0.677	0.675	0.674	0.673	0.672	0.670	0.669	0.668	0.666
39.0	0.665	0.664	0.663	0.661	0.660	0.659	0.658	0.656	0.655	0.654
40.0	0.653	0.652	0.650	0.649	0.648	0.647	0.645	0.644	0.643	0.642
41.0	0.641	0.639	0.638	0.637	0.636	0.635	0.634	0.632	0.631	0.630
42.0	0.629	0.628	0.627	0.626	0.624	0.623	0.622	0.621	0.620	0.619
43.0	0.618	0.616	0.615	0.614	0.613	0.612	0.611	0.610	0.609	0.608
44.0	0.607	0.606	0.604	0.603	0.602	0.601	0.600	0.599	0.598	0.597
45.0	0.596	0.595	0.594	0.593	0.592	0.591	0.590	0.589	0.587	0.586
46.0	0.585	0.584	0.583	0.582	0.581	0.580	0.579	0.578	0.577	0.576
47.0	0.575	0.574	0.573	0.572	0.571	0.570	0.569	0.568	0.567	0.566
48.0	0.565	0.564	0.564	0.563	0.562	0.561	0.560	0.559	0.558	0.557
49.0	0.556	0.555	0.554	0.553	0.552	0.551	0.550	0.549	0.548	0.548

Computed from Table 170 - Smithsonian Physical Tables - 8th Edition
 Correction factor, R_T , is found by dividing the viscosity of water at the test temperature by the viscosity of water at 20 C.

BIBLIOGRAPHIE

L. D. Suite - Proposed standard Method of testing the water permeability of geotechnical fabrics
ASTM designation

PROJET BNQ BB 450

- Geotextiles - Détermination de la contrainte circonferentielle de traction d'une membrane de textile non tissée

Dominium Textile Inc. 1950 Sherbrooke West Montreal
Canada H3H 1E7 May 1981 CDT Projet A183

- Analysis of six Penroad geotextiles; Structure and hydraulic behavior under compression

M. Bourdillon - Utilisation des textiles non-tissés pour le drainage. Application aux remblais de sols fins en cours de consolidation, Rapport de recherche NS 54, 24 Octobre 1975.

Comité Français des Geotextiles

- Recommandations pour l'emploi des geotextiles dans les voies de circulation provisoire, les voies à faible trafic et les couches de forme

Cheikh Sarr - Les Geotextiles dans les travaux de genie civil avec possibilités d'utilisation au Senegal.
Projet de fin d'études, Mai 1981

Henri Varlet . Barrages - Reservoir - Tome III
Barrages en terre et en enrochement
Editions Eyrolles, 1966

Victor L. Streeter . E. Benjamin Wylie
- Fluid Mechanics

R D W, JR : of 9/25/79
- Standard Method of Test for Water
Permeability of Planear Materials

LEFLAIVE E., Laboratoire central des Ponts et Chaussées
Paris, France

- Nouvelle approche de la mesure de la
résistance en traction des Geotextiles
non-tissés, Juin 1980