

**BOURDILLON M. et DIDIER G.**  
 Institut Universitaire de Technologie de Lyon, France  
**GIELLY J.**  
 Institut Universitaire de Technologie de Lyon, France

## Utilisation des produits non-tissés pour le drainage

### Utilization of non-woven fabrics in drainage

#### ABSTRACT

This paper describes the study of non-woven fabrics in view of their utilization as a drainage layer in fine soil embankments with a high water content.

After having examined some of the properties - particularly compressibility and permeability - of non-woven sheets differing in nature and structure, the authors present the theoretical bases of the consolidation's study of an embankment drained by these materials.

Concrete cases are then treated by this method and the variation of different parameters are envisaged : thickness of soil layers, drain thickness, width of the embankment, embankment loading method, soil permeability, drain permeability.

A certain number of recommendations are given (such as the minimal value of the permeability ratio of the drain and the soil, or the minimum thickness of the drain) to guide the users of these products.

#### INTRODUCTION

D'apparition récente sur le marché des travaux publics, les non-tissés paraissent aptes à apporter des solutions intéressantes à divers problèmes posés par les sols de qualités médiocres (J. KOVACS - 1972 ; E. LEFLAIVE et J. PUIG - 1974). Dans ce contexte, il peut être envisagé d'utiliser des nappes de non-tissés ayant des propriétés drainantes pour accélérer la consolidation de remblais en sols fins mis en oeuvre à teneur en eau élevée. Cette solution permettrait d'utiliser des limons ou argiles très humides, à condition que leur mise en place soit possible et que ce soit rentable vis-à-vis de la solution classique qui consiste à mettre ce matériau en dépôt et à le remplacer par un autre de bonne qualité.

Après avoir étudié la compressibilité et la perméabilité de certaines nappes de non-tissés, on présente l'étude de l'efficacité du drainage par ces nappes incorporées au corps d'un remblai.

Les non-tissés étudiés sont les suivants :

- Le Bidim - Produits A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>.

Ce produit se présente sous l'aspect de nappes composées de fibres continues de polyester de 28 microns de diamètre, liées par aiguilletage, de grammages différents : environ 600 g/m<sup>2</sup> pour le A<sub>1</sub> nommé U64, 400 g/m<sup>2</sup> pour le A<sub>2</sub> nommé U44, 300 g/m<sup>2</sup> pour le A<sub>3</sub> nommé U34.

- Le Sodospun - Produit B.

Ce produit composé de fibres en polypropylène de 39 microns de diamètre, liées par aiguilletage, existe également en nappes de différents grammages ; celui qui a été choisi pour cette étude est d'environ

400 g/m<sup>2</sup>.

- Le Colbond - Produit C.

Ce produit se présente sous forme de nappes de grammage 450 g/m<sup>2</sup> environ. C'est un non-tissé de la voie sèche, composé de fibres polyester courtes de 24 microns de diamètre, aiguilletées et liées par une résine.

#### CARACTERISTIQUES DES PRODUITS ETUDIÉS

##### COMPRESSIBILITE

L'étude est faite sur des échantillons composés de 10 disques de 10 cm de diamètre empilés dans un appareil - de conception semblable à celle d'un oedomètre - placé sur un bâti de chargement.

Les essais ont été réalisés sur des échantillons saturés préchargés ou non avant d'être soumis à un cycle de chargement, chaque charge étant laissée 5 mn. La figure 1 présente à titre d'exemple les courbes de variation de l'indice des vides  $e$  du produit A<sub>1</sub> en fonction du logarithme de la contrainte  $\sigma$  appliquée et ce pour diverses valeurs de la contrainte de préchargement.

Les courbes  $e = f(\log \sigma)$  deviennent nettement des droites à partir de la valeur de préchargement. On peut noter que les 5 échantillons étudiés ont des courbes très voisines avec un indice de compression  $C_c$  variant de 3,5 à 3,7. Un préchargement faible sera donc suffisant pour créer une même histoire des contraintes pour tous les échantillons étudiés et pour mettre les différentes couches en contact.

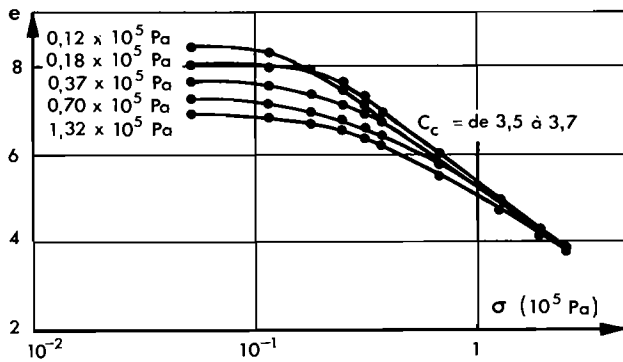


Fig. 1 : Courbes de compressibilité du produit A<sub>1</sub>  
Le tableau I donne les valeurs de l'indice de compression  $C_c$  pour les produits étudiés.

PRODUIT		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B	C
$C_c$	préchargé à $0,18 \cdot 10^5$ Pa	3,5	3,9	4,2		
	non préchargé	3,5	4,2	4,4	5,1	2,2

Tableau I

L'épaisseur d'une nappe étant une donnée indispensable pour l'étude de sa capacité drainante on présente Figure 2 les courbes de variation d'épaisseur des cinq nappes obtenues au cours d'essais de compressibilité sur des échantillons de dix disques empilés non préchargés et saturés. L'épaisseur  $h$  portée est une épaisseur moyenne obtenue en divisant les hauteurs d'échantillons par dix.

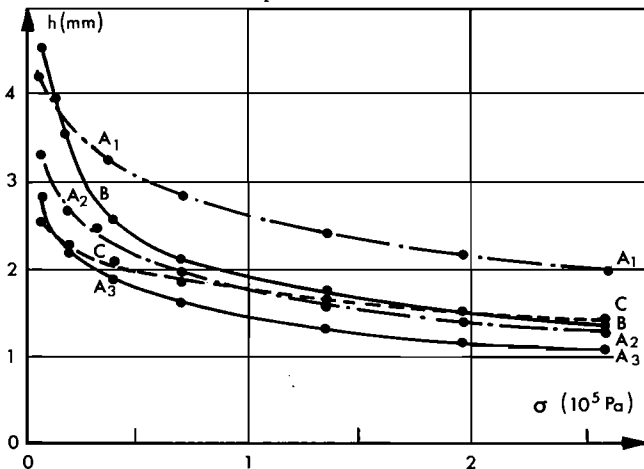


Fig. 2 : Variation de l'épaisseur des nappes en fonction de  $\sigma$ .

Afin de mettre en évidence un éventuel fluage des fibres ou des liaisons interfibres on a suivi pendant 5 mois la variation de hauteur des produits étudiés, placés à une température constante de 18°C et soumis à une charge constante de  $2 \cdot 10^5$  Pa.

On a pu constater que dans le cas des produits A, B, C, il n'y avait pas fluage de la nappe : 90 % du tassement final s'effectuant dans les 5 premières minutes ; le tassement résiduel est de faible amplitude mais il se traduit quand même par une variation de l'indice des vides non négligeable : 4,37 au bout de

5 mn à 3,84 à la stabilisation pour le produit A<sub>2</sub>. Cela doit avoir une petite influence sur la perméabilité.

#### PERMEABILITE

Les matériaux non-tissés se présentant sous forme de nappes dont deux dimensions sont très grandes par rapport à la troisième, il nous a semblé indispensable, pour la poursuite de l'étude, de déterminer les variations des perméabilités transversale  $K_v$  (perpendiculaire au plan de la nappe) et longitudinale  $K_h$  (dans le plan de la nappe) en fonction des contraintes exercées sur les produits étudiés.

- Perméabilité transversale : Elle est étudiée avec le même appareillage que celui utilisé pour la compressibilité mais cette fois le fond du moule est relié à un bac à niveau constant pour former un perméamètre à charge constante. Tous ces essais ont été réalisés avec une perte de charge hydraulique totale de 0,50 m sur des échantillons composés de 10 à 30 couches de produit. Pour chaque charge appliquée, la mesure du débit a été faite après un délai de 2 heures durant lequel l'eau circulait.

La Figure 3 présente comme exemple la variation de la perméabilité transversale  $K_v$  (ramenée à 20° C) du produit A<sub>1</sub> en fonction de la contrainte appliquée  $\sigma$  ou de l'indice des vides  $e$  correspondant.

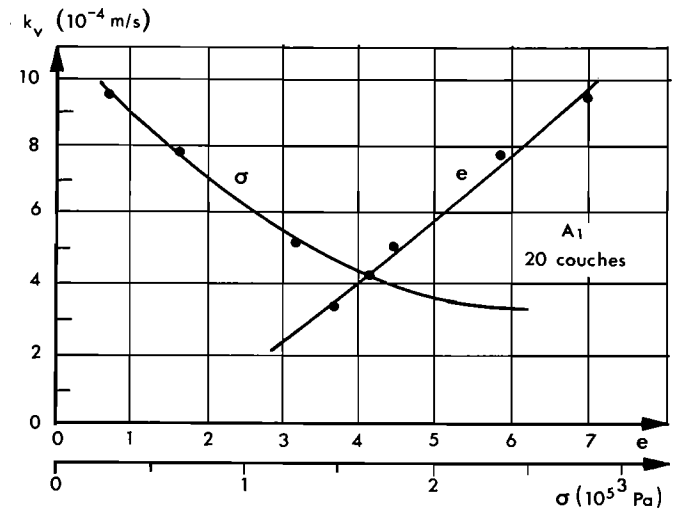


Fig. 3 : Variation de la perméabilité transversale en fonction de  $\sigma$  ou de  $e$ .

La même étude a été conduite sur les autres produits. Le tableau II donne les valeurs des perméabilités obtenues pour deux charges appliquées 0,5 et 2 bars.

Produit	$\sigma = 0,5 \cdot 10^5$ Pa			$\sigma = 2 \cdot 10^5$ Pa		
	e	h mm	$K$ $10^{-4} \text{m/s}$	e	h mm	$K$ $10^{-4} \text{m/s}$
A <sub>1</sub>	6,35	3,05	8,3	3,8	2,15	3,6
A <sub>2</sub>	7,3	2,1	10	3,8	1,4	2,3
A <sub>3</sub>	7,1	1,8	13	4,1	1,15	4
B	3,7	2,4	6,4	1,6	1,5	1,1
C	5,3	1,95	11	3,5	1,5	6

Tableau II

- Perméabilité longitudinale : Les échantillons étudiés sont un empilement de couronnes de 10 cm de diamètre extérieur et de 3 cm de diamètre intérieur.

L'eau est amenée par le piston au centre de l'échantillon et, après cheminement horizontal, est évacuée dans un bac à niveau constant par des trous percés dans la paroi du cylindre sur toute la hauteur de l'échantillon.

Les résultats présentés Figure 4 sont relatifs aux produits A.

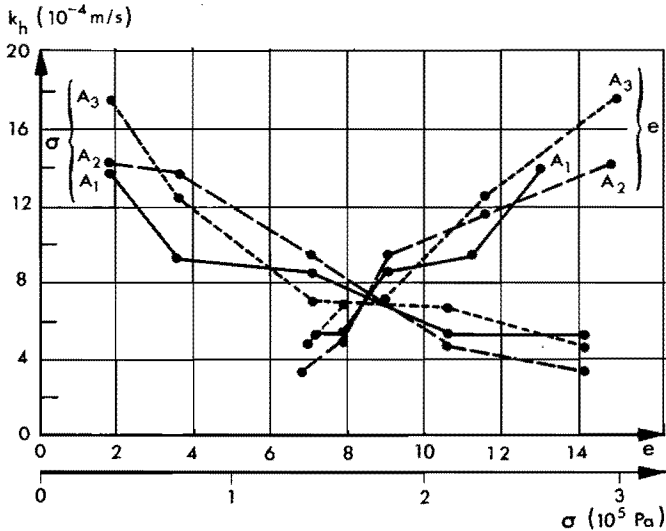


Fig. 4 : Essais de perméabilité longitudinale

En admettant que les ordres de grandeurs sont valables, il apparaît que les variations de  $K_h$  sont approximativement du même ordre que celles de  $K_v$  ; la perméabilité horizontale serait même plus grande (environ 1,2 fois) pour les plus fortes contraintes.

#### ETUDE DU DRAINAGE PAR DES NAPPES NON-TISSEES

L'étude de la consolidation d'une couche de remblai située entre 2 nappes drainantes a été volontairement limitée à la couche inférieure, considérée saturée. Le problème essentiel consiste à tenir compte de la mise en pression de l'eau dans les drains supposés saturés lorsque la couche de sol est chargée.

Le traitement de ce problème est impossible par la théorie de la consolidation unidimensionnelle de TERZAGHI du fait que les conditions aux limites ne sont pas respectées.

Le modèle retenu est celui d'une consolidation bidimensionnelle selon une section droite de la couche en tenant compte des conditions aux limites réelles ; le traitement mathématique est réalisé à l'ordinateur par la méthode des différences finies, sur la base des travaux de HUARD DE LA MARRE (1958) et THOMANN (1972 et 1975). Cette méthode a l'avantage de donner des équations à une seule inconnue (la pression) en tout point de la couche mais présente l'inconvénient d'avoir un pas de temps critique au-delà duquel le calcul diverge (BOURDILLON - 1975).

#### DEROULEMENT DE L'ETUDE

La couche de sol est représentée par un maillage régulier ; le calcul de la pression interstitielle au temps  $t + \Delta t$  en un noeud est conduit en considérant les pressions qui règnent à l'instant  $t$  précédent, en ce noeud et aux noeuds voisins.

On évalue alors les pressions qui règnent dans les

nappes drainantes, qui forment les conditions aux limites de l'étape suivante de calcul, en supposant que les nappes drainent horizontalement toutes les quantités reçues transversalement.

Tous les points des drains sont décrits plusieurs fois en prenant chaque fois comme valeurs initiales les valeurs calculées au tour précédent, jusqu'à ce que les surpressions calculées soient constantes, c'est-à-dire que l'écoulement soit permanent.

Les pressions établies dans les drains vont servir, pour le pas de temps suivant, au calcul des pressions dans le sol, pressions qui elles-mêmes induiront un nouvel écoulement dans les nappes, et ainsi de suite. On arrête la simulation pour une certaine valeur résiduelle de la surpression dans le sol, car l'obtention de la surpression nulle demande un temps infini.

Le programme de calcul permet de simuler une construction du remblai en plusieurs étapes, en considérant le chargement par paliers de la couche de sol étudiée.

Les caractéristiques du sol et du drain peuvent être prises constantes ou réactualisées en fonction des contraintes imposées.

#### EXEMPLE

Un exemple des résultats obtenus est donné Figure 5 pour la consolidation d'une couche de remblai chargée rapidement.

Caractéristiques de la couche de sol :

Charge appliquée  $2.10^5$  Pa ; hauteur totale  $2H=2m$

Largeur  $2L=30m$  ; perméabilité  $K_S=10^{-8}$  m/s

Coefficient de consolidation  $CV=10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s

Coefficient de compressibilité volumétrique

$MVS = 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/N

Caractéristiques de la nappe drainante :

Perméabilité  $K_T=3.10^{-4}$  m/s ; épaisseur  $EP=2,2$  mm

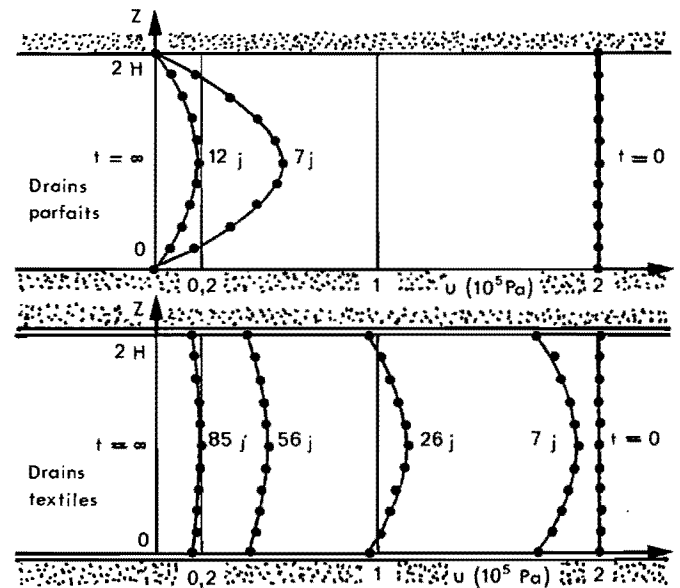


Fig. 5 : Diagramme de surpressions interstitielles

Le tassement final de la couche est de 40 cm.

Les temps nécessaires à l'obtention d'un degré de consolidation de 90 % sont :

10 jours dans le cas de la couche parfaitement drainée ; 85 jours dans le cas de la couche drainée par des nappes ; 2.200 jours si l'on considère que le

drainage n'a lieu que par les parements du remblai, les faces horizontales de la couche étant supposées imperméables.

Ces résultats montrent, malgré la mise en pression de l'eau dans les drains, l'efficacité d'une telle solution.

#### ETUDE DE L'INFLUENCE DES DIFFERENTS PARAMETRES

##### - Mode de chargement :

Pour l'étude d'une même couche de sol située à la base du remblai, on a simulé plusieurs modes de chargement pour voir leur influence sur le temps de tassement, la contrainte maximale de  $2 \cdot 10^5$  Pa exercée correspondant à une hauteur de remblai de 10 m (Figure 6).

##### - Caractéristiques de la couche étudiée :

Perméabilité du sol  $KS = 10^{-8}$  m/s ;  
Compressibilité du sol  $MVS = 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/N ;  
Perméabilité des nappes drainantes  $KT = 2,5 \cdot 10^{-4}$  m/s  
Épaisseur des nappes drainantes  $EP = 3,2 \cdot 10^{-3}$  m ;  
Largeur du remblai  $2L = 20$  m.

##### - Différents modes de chargement envisagés :

A :  $1 \times 2 \cdot 10^5$  Pa - Temps de construction : 0 jour  
E :  $2 \times 10^5$  Pa - Temps de construction : 7 jours  
C :  $5 \times 0,4 \cdot 10^5$  Pa - Temps de construction : 14 jours  
D :  $5 \times 0,4 \cdot 10^5$  Pa - Temps de construction : 28 jours  
E :  $8 \times 0,25 \cdot 10^5$  Pa - Temps de construction : 49 jours

Les temps de construction sont donnés sans tenir compte du temps nécessaire pour édifier la couche étudiée.

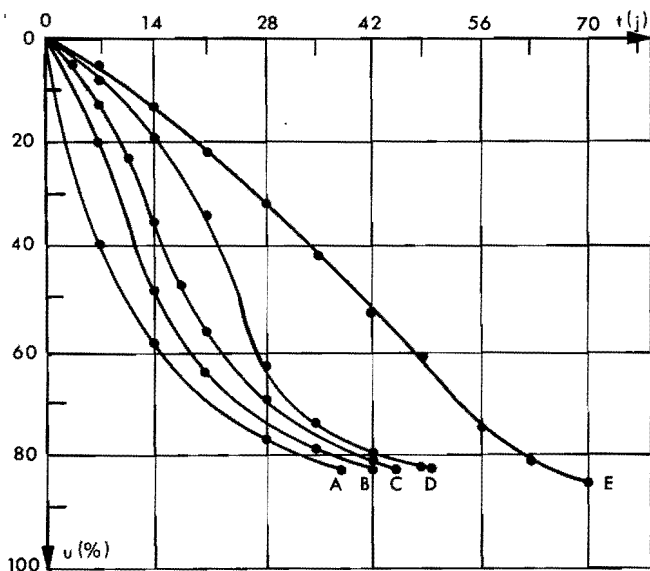


Fig. 6 : Evolution du degré de consolidation en fonction du temps pour les 5 modes de chargement.

Le mode de chargement D qui donne des temps moyens vis-à-vis des autres modes a été choisi pour le reste de l'étude. Il simule une construction de remblai assez réaliste ; les couches de 2 mètres d'épaisseur sont déposées à 7 jours d'intervalle pendant lesquels une consolidation partielle se déroule.

##### - Paramètres mécaniques :

Trois paramètres mécaniques peuvent avoir de l'influence sur l'efficacité des drains : MVS, KS et KT. Pour limiter le nombre de cas à étudier, on a laissé MVS constant et égal à  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/N et fait varier in-

dépendamment KS et KT. On a comparé les temps mis pour dissiper 90 % de la surpression interstitielle maximale pouvant être amenée par le remblai au centre d'une couche de sol parfaitement drainée, avec ceux d'une même couche drainée par deux nappes textiles d'épaisseur  $EP = 3,2$  mm et de perméabilité  $KT = 2,5 \cdot 10^{-4}$  m/s.

##### - Variation de KS :

Caractéristiques de la couche de sol étudiée :  
 $MVS = 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/N ;  $2L = 20$  m ;  $2H = 2$  m

Caractéristiques de la nappe de non-tissé :  
 $EP = 3,2$  mm ;  $KT = 2,5 \cdot 10^{-4}$  m/s

Chaque couche de remblai est ajoutée soit lorsque la surpression interstitielle tombe au dixième de la contrainte due aux terres sus-jacentes, soit au bout de 7 jours.

On constate sur les courbes log temps - log KS (Figure 7) que pour des perméabilités de sol d'environ  $10^4$  à  $10^5$  fois moins grandes que celles des drains, on peut considérer le drainage comme parfait ; en outre, la différence entre les temps de consolidation est à peu près constante (environ 30 jours) ; leur rapport passe donc d'environ 10 pour  $KS = 10^{-7}$  m/s à 1 pour  $KS = 10^{-10}$  m/s.

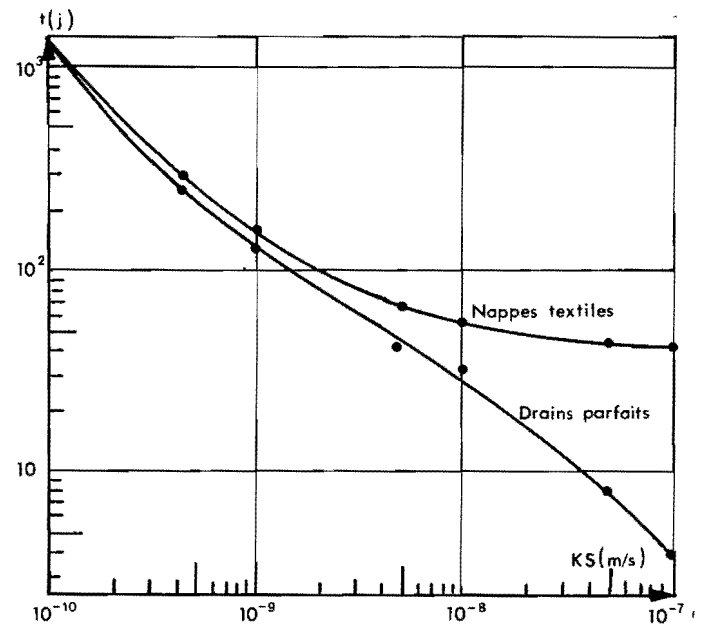


Fig. 7 : Influence de la perméabilité du sol sur les temps de consolidation.

##### - Variation de KT :

Les simulations ont été effectuées comme dans le cas précédent, pour le même mode de chargement du remblai. Les caractéristiques de la couche de sol sont les mêmes mais  $KS = 10^{-8}$  m/s est constant. On a fait varier  $KT$  de  $10^{-3}$  à  $10^{-5}$  m/s, plage pouvant être couverte par les non-tissés, et ceci pour trois épaisseurs de nappe : 3,2 mm, 5 et 10 mm (figure 8).

Il convient de mentionner que la même couche de sol, parfaitement drainée sur ses 2 faces, obtient un degré de consolidation de 90 % au bout de 33,3 jours. On constate que l'influence de l'épaisseur se fait peu sentir jusqu'à une perméabilité du drain de  $3 \cdot 10^{-4}$  m/s, ce qui est  $10^4$  à  $10^5$  fois plus perméable que le sol drainé. On retrouve donc le résultat

précédent.

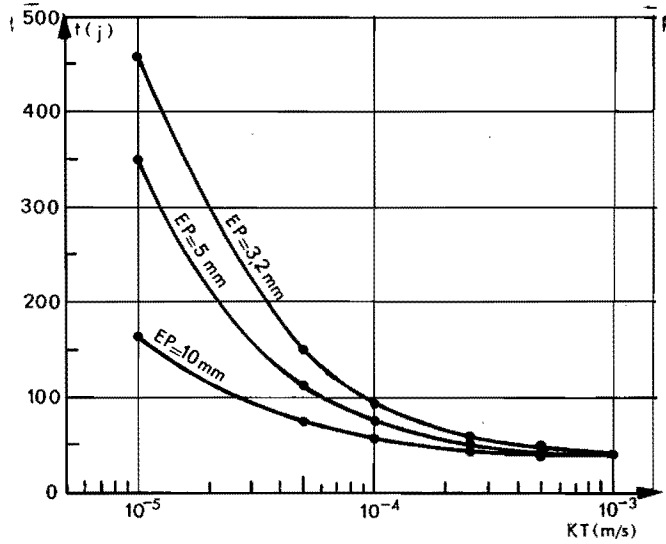


Fig. 8 : Influence de la perméabilité du drain sur les temps de consolidation, pour différentes épaisseurs de ce drain.

- Paramètres géométriques :

En envisageant le même mode de construction du remblai que précédemment, l'influence des 3 paramètres suivants est étudiée :

épaisseur de la couche 2 H ; épaisseur des nappes drainantes E P ; largeur du remblai 2 L .

- Epaisseur de la couche de sol :

Caractéristiques de la couche de sol :

KS =  $10^{-8}$  m/s ; MVS =  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/N ; 2 L = 20 m ;  
2 H varie de 0,5 à 4 m.

Caractéristiques de la nappe de non-tissé :

E P = 2,2 mm ; K T =  $2,3 \cdot 10^{-4}$  m/s

La consolidation est relativement moins retardée par les nappes textiles pour les couches épaisses que pour les couches minces (les rapports des temps passent de 15 à 2 lorsque 2 H varie entre 0,5 et 2 mètres, puis restent constants) (Figure 9).

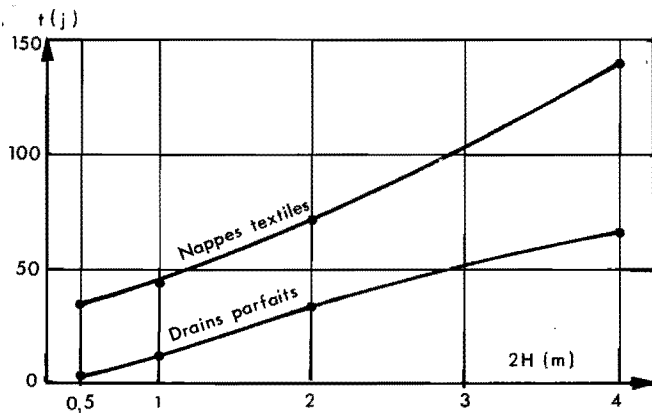


Fig. 9 : Influence de l'épaisseur de la couche de sol. Comparaison entre nappes textiles et drains parfaits.

Il est intéressant de noter qu'une couche de sol de mêmes caractéristiques, de 2 mètres d'épaisseur et

limitée horizontalement par deux couches imperméables, mettrait 3 ans et 110 jours à se consolider, le drainage se faisant par les deux parements du remblai.

- Epaisseur de la nappe drainante :

On a étudié l'influence de ce paramètre sur des couches de 2 m d'épaisseur soumises au chargement précité et sur des couches de 1 m d'épaisseur, le chargement étant là de 10 couches amenant chacune une contrainte de  $0,2 \cdot 10^5$  Pa et appliquée à 7 jours d'intervalle (Figure 10).

Caractéristiques des couches de sol et des nappes :

KS =  $10^{-8}$  m/s ; MVS =  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/N ; 2 L = 20 m ;  
Pour 2 H = 2 m , KT =  $2,5 \cdot 10^{-4}$  m/s ;  
Pour 2 H = 1 m , KT =  $3,45 \cdot 10^{-4}$  m/s.

Les temps de consolidation des couches parfaitement drainées sont de 33,3 jours pour 2 H = 2 m et 15,6 jours pour 2 H = 1 m.

A partir de EP = 2 cm, l'augmentation de l'épaisseur du drain n'amène pas d'amélioration notable.

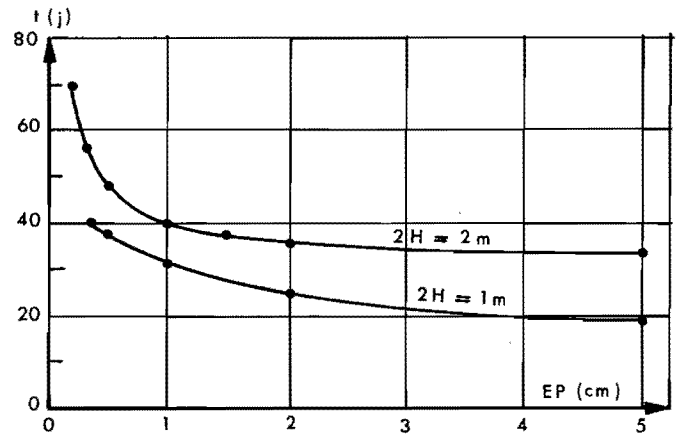


Fig. 10 : Influence de l'épaisseur de la nappe drainante pour deux épaisseurs de couche de sol.

Les drains d'épaisseur inférieure à 2 mm risquent d'augmenter les temps de consolidation de façon très importante, outre le fait qu'ils risquent davantage d'être colmatés.

- Largeur du remblai :

La largeur du remblai étant la longueur d'écoulement dans les drains, elle a une influence sur le temps de consolidation.

Caractéristiques de la couche de sol :

2 H = 2 m ; MVS =  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/N ; KS =  $10^{-8}$  m/s ;  
2 L varie de 10 m à 40 m.

Caractéristiques de la nappe de non-tissé :

EP = 3,2 mm ; KT =  $2,5 \cdot 10^{-4}$  m/s

La largeur du remblai n'intervient pas sur les temps de consolidation de la couche parfaitement drainée (Figure 11). Elle interviendrait pour 2 L < 5 m, mais là le mode de chargement influe trop sur les résultats. Il est donc tout à fait légitime d'étudier ce type de couche en consolidation unidimensionnelle.

Pour les drains textiles, l'influence est importante comme on pouvait s'y attendre. En effet, le temps d'écoulement dans le drain est approximativement proportionnel au carré de sa longueur ; la courbe obtenue est à peu près parabolique.

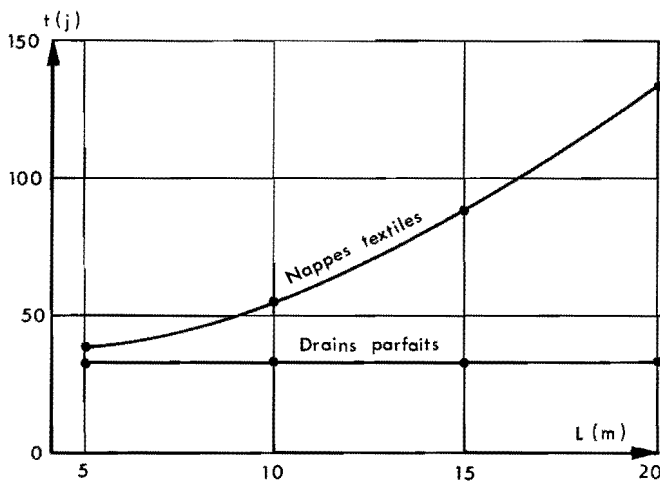


Fig. 11 : Influence de la largeur du remblai sur les temps de consolidation.

#### CONCLUSION

L'étude des diverses nappes testées a permis de montrer que de tels produits sont très compressibles ( $C_c$  voisin de 4) ; il est donc impératif de connaître les charges mécaniques supportées par ces nappes utilisées comme drain, afin d'en déterminer l'épaisseur donc les sections de drainage.

Les produits étudiés se révèlent sensiblement isotropes en perméabilité, les valeurs des perméabilités mesurées, comprises entre  $10^{-3}$  et  $10^{-4}$  m/s pour des contraintes variant de  $0,5 \cdot 10^5$  Pa à  $3 \cdot 10^5$  Pa, permettent d'envisager leur utilisation comme nappes drainantes au sein d'un remblai.

En effet, l'étude des différents paramètres a permis de voir qu'une nappe d'épaisseur supérieure à 2 mm sous charge fera un excellent drainage pourvu que sa perméabilité soit  $10^4$  à  $10^5$  fois supérieure à celle du sol.

Ces conditions sont modulées par les autres paramètres (épaisseur de la couche de sol, largeur du remblai), mais cette influence n'est pas critique.

Ces résultats concordent bien avec ceux de R.E. GIBSON et G.C. SHEFFORD (1968) qui ont étudié analytiquement un remblai d'argile drainé par des couches de sable horizontales.

Les remblais particulièrement hauts mériteraient une étude spécifique effectuée avec variation des caractéristiques de la couche de sol et surtout des nappes drainantes à chaque chargement, car si la contrainte de consolidation n'intervient théoriquement pas sur le temps, les caractéristiques des nappes textiles sont modifiées pour les grands accroissements de charge.

Il semble maintenant nécessaire d'envisager une expérimentation en place, afin de vérifier les résultats donnés par le calcul.

#### BIBLIOGRAPHIE

BOURDILLON M.,  
Utilisation des textiles non-tissés pour le drainage. Thèse Doct-Ing. Lyon 1975. Rapport de recherche LPC n° 54 (1976)

GIBSON R.E., SHEFFORD G.C.,  
The efficiency of horizontal drainage layers for accelerating consolidation of clay embankments. *Geotechnique* n° 18 (1968), p. 327-335.

HUARD DE LA MARRE P.,  
Résolution de problèmes d'infiltration à surfaces libres au moyen d'analogies électriques. *Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'Air* n° 340 (1958).

KOVACKS J.,  
Les textiles non-tissés. Ed. Eyrolles, Masson et Cie éd. (1972), Paris.

LEFLAIVE E., PUIG J.,  
Emploi des textiles dans les travaux de terrassement et de drainage. *Bull. liaison Labo. P. et Ch.* n° 69 (Janv-Févr. 1974), p. 77-89.

THOMANN G.,  
Résolution de l'équation de la consolidation unidimensionnelle par la méthode des différences finies. *Bull. liaison Labo. P. et Ch.* n° 59 (mai-juin 1972), p. 57-64.

THOMANN G., CHAPUT D.,  
Consolidation d'un sol avec drains verticaux sous charge variable. *Rapport de recherche LPC.* (sept. 1975).