

LOUBINOX, D.

Institut Textile de France, Lyon, France

FAURE, Y., GOURC, J. P. and MACHIZAUD, C.

IRIGM, Université de Grenoble, Grenoble, France

Behavior of Geotextiles as Filters Under Dynamic and Static Loadings**Conservation de la fonction filtre des géotextiles sous sollicitations dynamiques et statiques**

When setting on a geotextile filter as a protection for a drain, this fabric is subjected to dynamical forces and afterwards, static compression loads by the upper soil layer with a quasi-steady flow.

Experiments were performed in order to reproduce critical conditions for the geotextile. Non woven heat bonded and needled punched geotextiles were used with a fine silicon dioxide powder.

From these experiments, the part of the initial moisture content at the time of the compaction operation is found to be very important. The filtration diameter, which is related to the size d_{95} of the passing soil depends strongly upon the type of loading : dynamic or static. Thus, these two tests appear to be usefully complementary.

The permeability measurements and the processing control of the passing soil lead us to conclude that, for the soils which were utilized, the tested geotextiles behave as good filters, and that the clogging up is avoided.

Le filtre géotextile utilisé comme protection de drain subit, lors de sa mise en place, des sollicitations dynamiques, et est soumis par la suite à la compression statique des terres susjacentes avec un écoulement quasi-permanent.

Des essais de laboratoire ont été réalisés reproduisant ces sollicitations dans des conditions sévères pour le géotextile. Ils ont été conduits sur des non tissés thermoliés et non tissés aiguilletés avec un sol non cohérent très fin.

Ces essais ont permis de mettre en évidence le rôle de la teneur en eau lors de la phase de compactage. Le diamètre de filtration, correspondant au d_{95} du passat dépend fortement du type de sollicitation : dynamique ou statique. On montre ainsi la complémentarité des deux types d'essais.

Enfin ces essais permettent de conclure, à la suite des mesures de perméabilité et du contrôle des passats à la bonne conservation de la fonction filtre et au non colmatage des géotextiles considérés avec les sols testés.

INTRODUCTION

Un géotextile utilisé comme filtre dans une tranchée drainante doit permettre le passage de l'eau vers le drain tout en empêchant le transfert de particules du sol. Il est important de s'assurer que cette fonction filtre est conservée lors des deux phases principales de la vie du géotextile :

- la mise en place : le géotextile est soumis à des sollicitations dynamiques (compactage du sol),
 - en service : le géotextile est comprimé statiquement et est soumis à un régime hydraulique quasi-permanent.
- Afin d'étudier ces deux aspects, des simulations en laboratoire ont été réalisées conjointement à I T F - LYON (essais dynamiques) et à l'Université de Grenoble (essais statiques) sur des échantillons sol-géotextile-drain identiques :
- le sol : de la silice broyée en poudre donc un matériau non cohérent. Deux granulométries ont été retenues fig. 1. Toutes deux présentent un d_{95} analogue, 125 μm , mais le sol 1 a une granulométrie très étalée : son coefficient d'uniformité est supérieur à 20 alors qu'il n'est que de 1,5 pour le sol 2, très uniforme.
 - le géotextile : un non tissé. Deux structures de masse surfacique semblable ont été testées : TP, un thermolié TYPAR 3807, $\mu = 270 \text{ g/m}^2$, BD, un aiguilleté BIDIM U 34, $\mu = 260 \text{ g/m}^2$.
 - le drain : des billes de verre de 10 mm de diamètre.

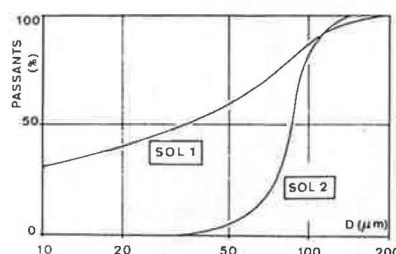


Fig. 1 - Courbes granulométriques des sols utilisés

1 ESSAIS DYNAMIQUES (Simulation de la mise en place)**1.1 Dispositif expérimental**

On utilise une cellule d'essais cylindrique de 180 mm de diamètre, fig. 2, où le géotextile, posé sur les billes de verre est pincé à la périphérie. Le sol est préparé à une teneur en eau initiale W_0 donnée et est "precompacté" à la mise en place sur le géotextile. L'effort de compression dynamique est appliqué au moyen d'un dispositif mécanique conçu à cet effet, fig. 3. Il permet de laisser tomber une masse m d'une hauteur h , maximum de 1 m, avec une périodicité minimum de 4 s entre deux chocs. Les conditions choisies pour toutes les expérimentations sont les suivantes :

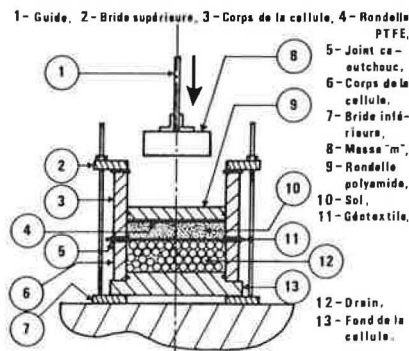


Fig. 2 - Cellule d'essais dynamiques

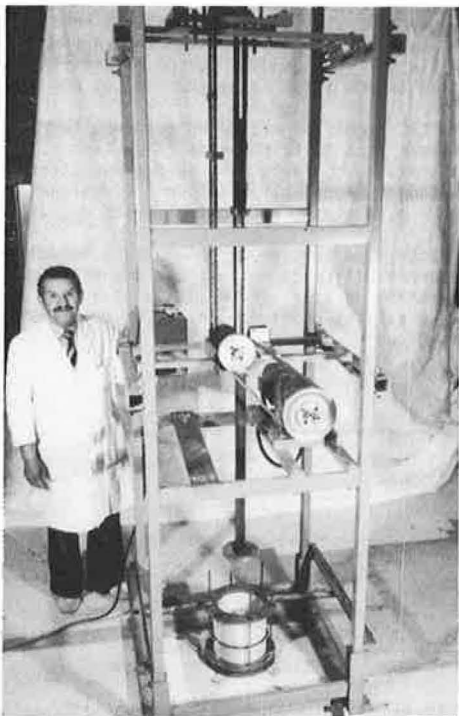


Fig. 3 - Dispositif de compactage

$m = 8,9 \text{ kg}$,
 $h = 1 \text{ m}$,
 période : 10 s,
 nombre de coups $N = 100$.

En faisant l'hypothèse de frottements négligeables, l'énergie totale appliquée sur 1,5 kg de sol 1 ou 1 kg de sol 2 est de 325 kJ/m². A titre indicatif, l'énergie appliquée à 1 kg de sol de densité 2 lors d'un essai de compactage Proctor Normal est de 36 kJ/m² et de 166 kJ/m² au Proctor Modifié. En cours d'essai, on mesure le tassement du sol. Après compactage, la teneur en eau à la surface du sol en son milieu et au contact du géotextile est déterminée par deux prélèvements à chaque niveau. Les billes

du drain sont lavées, l'eau est conservée et évaporée à l'étuve ce qui permet d'obtenir la fraction de sol passante (soit M_1 la masse correspondante par unité de surface de textile). Dans certains cas, on effectue un essai identique, mais sans prélèvement en fin de compactage : on fait alors une mesure de perméabilité sur l'ensemble sol-géotextile.

1.2 Précautions expérimentales

La reproductibilité des essais est conditionnée à un mode opératoire constant et le plus rigoureux possible. En particulier, il est important de noter les points suivants :

- l'arrangement des billes dans le fond de la cellule, est le plus compact possible, leur nombre est toujours le même,
- l'éprouvette de géotextile est pesée après conditionnement à 20° C et 65 % d'humidité relative,
- de la graisse au silicone est étendue sur la paroi interne de la cellule afin de diminuer les frottements du sol sur cette même paroi au cours du compactage,
- le sol d'une teneur en eau donnée subit un "précompactage" qui donne l'état initial du système. Il est obtenu par une première chute de la masse,
- quand le géotextile est retiré, il est séché et les particules accumulées en surnombre à la surface de contact avec le sol sont enlevées en retournant délicatement l'échantillon. Puis il est conditionné et pesé. Par différence avec son poids initial, on obtient la masse piégée par unité de surface M_2 .

1.3 Résultats

Un arrangement de billes de même diamètre ne subit pas de tassement notable ; par contre, le sol voit son épaisseur b décroître avec le nombre de coups.

Les mesures de tassement relatif $\Delta b/b$ (en %) en fonction du nombre de coups N ont été portées sur les figures 4 et 5.

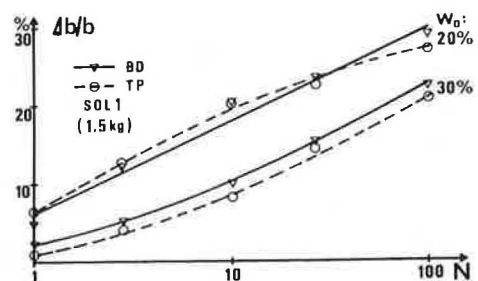


Fig. 4 - Tassement relatif du sol 1 en fonction du nombre de coups

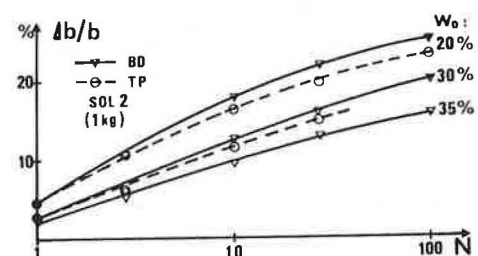


Fig. 5 - Tassement relatif du sol 2 en fonction du nombre de coups

On peut remarquer que :

- pour un sol, un géotextile et un nombre de coups donnés, le tassement est moindre aux teneurs en eau initiales W_0 élevées : le sol est proche de la saturation en fin d'essai et les teneurs en eau initiales sont supérieures à celle donnant l'optimum de compacité pour l'énergie appliquée.
- pour un sol et une teneur en eau donnés, le géotextile n'a pas d'influence significative sur le tassement relatif.

Les mesures de teneur en eau effectuées en fin d'essai ont été portées sur la figure 6. On constate que :

- les teneurs en eau finales sont inférieures à W_0 : il y a donc évacuation d'eau. Ce phénomène est d'autant plus important que la teneur en eau est élevée.

Des essais complémentaires, sur sol 2 ont été effectués avec un géotextile tissé, très ouvert (trous de 1 mm²). On peut observer, fig. 6, que les teneurs en eau mesurées après compactage sont plus élevées que pour les nontissés. Cela peut s'expliquer, puisque le passat est très important, par le fait qu'une partie de l'énergie de compactage a été perdue dans l'extrusion du sol au travers du tissé. On remarque aussi une accumulation d'eau au bas du gateau. Ce type de géotextile ne pouvant être véritablement "colmaté", l'excès d'eau, au niveau de tous les géotextiles, ne peut donc pas être attribué à un éventuel colmatage mais est dû à l'action conjuguée :

- des efforts de compressions dynamiques,
- de la teneur en eau,
- des phénomènes de tension superficielle au sein du sol.

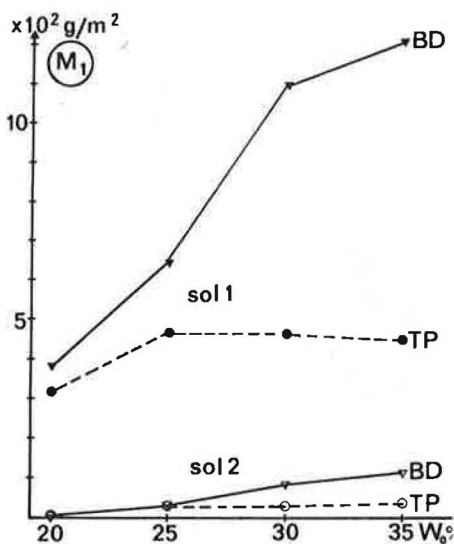


Fig. 7 - Passat en fonction de la teneur initiale W_0

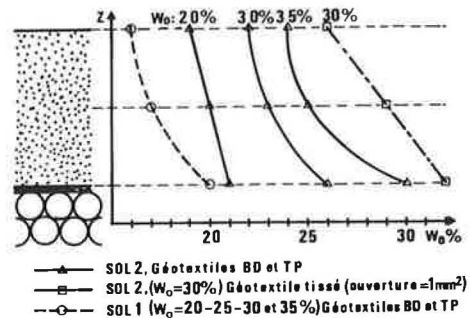


Fig. 6 - Teneur en eau du sol après 100 coups

a - Etude du passat

On a porté sur la figure 7 la masse de sol, par unité de surface, qui a traversé chacun des deux types de géotextiles nontissés en fonction de la teneur en eau initiale W_0 :

- les quantités de passat augmentent avec W_0 et comme il en est de même pour les quantités d'eau, on peut conclure que le passage de l'eau accroît celui du sol.
- le passat M_1 est plus important avec l'aiguileté que le thermolie de même masse surfacique,
- des analyses granulométriques et sédimentométriques effectuées sur les passats, figures 8 et 9, montrent des granulométries plus fines que le sol d'origine : les fines passent plus facilement que les grosses particules, ce qui explique que les masses de passat du sol 1 soient plus grandes que celles du sol 2.
- Lorsque W_0 est élevée, les fines du sol 1 traversent plus facilement (pour $W_0 = 30\%$ le sol 1 est saturé au premier coup), pour le sol 2, la fraction fine étant moins importante, le rôle de W_0 n'est pas mis en évidence.

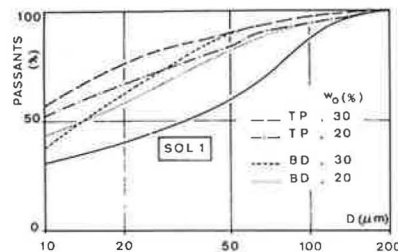


Fig. 8 - Granulométrie des passats du sol 1 sous sollicitations dynamiques

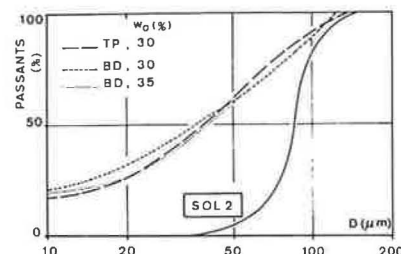


Fig. 9 - Granulométrie des passats du sol 2 sous sollicitations dynamiques

- FAYOUX (1) a déterminé un diamètre de filtration de 125 μm pour BD, quant à TP, une mesure porométrique par tamisage donne un O_{90} de 85 μm . Or on constate que les sollicitations dynamiques permettent le transfert de particules supérieures à 150 μm pour BD et TP. Des essais complémentaires réalisés avec un sol de granulométrie plus grosse devraient permettre de déterminer le diamètre maximum du passat en fonction de l'énergie appliquée.

b - Evaluation du risque de colmatage

Etude du sol piégé dans le géotextile : sur la figure 10, la quantité de sol piégée par unité de surface M_2 est représentée en fonction de W_0 :

- un géotextile donne renferme plus de sol 1 que de sol 2 ; on peut donc penser que ce sont surtout les particules fines qui sont retenues, mais malheureusement, nous ne disposons pas de courbe granulométrique nous indiquant quelle fraction du sol est plus facilement piégée.

- Le nontissé aiguilleté piège davantage le sol que le thermolisé ; cela est dû à sa porosité et à son épaisseur plus grandes. En effet, si on rapporte la masse piégée à l'unité de volume des vides, on constate alors que cette grandeur est sensiblement la même pour les deux types de géotextile, figure 11.

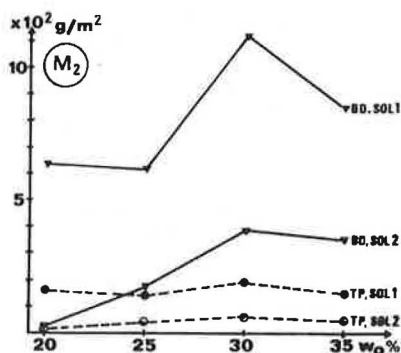


Fig. 11 - Piégé en fonction de la teneur initiale w_0

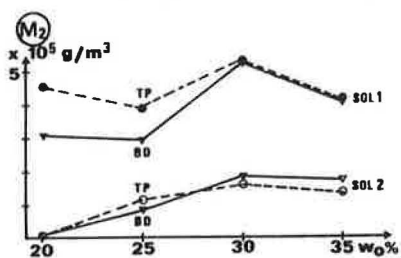


Fig. 10 - Piégé par unité de volume des vides en fonction de w_0

Mesure de la perméabilité : la cellule est retournée puis reliée à un réservoir d'eau, l'ensemble constituant un perméamètre à charge constante, figure 12. Compte tenu des faibles vitesses d'écoulement, les pertes de charge propres à l'appareillage sont négligeables devant celles que l'on peut mesurer pour le sol compacté. Les valeurs de perméabilité (tableau 1) montrent que la perméabilité globale mesurée est celle du sol seul.

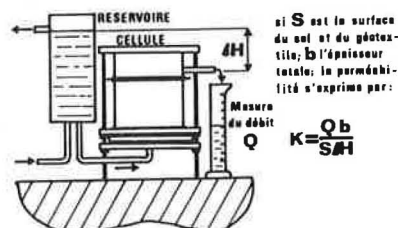


Fig. 12 - Mesure de la perméabilité

Tableau 1 - Perméabilités après essais dynamiques

Sol	W_0 (%)	Sol + BD			Sol + TP		Sol	
		20	30	35	20	30	20	30
1	K (m/s) $\times 10^{-7}$	2,0	0,8		1,5	1,7	1,8	2,1
	γ_d (kN/m ³)	18,70	20,60		18,50	19,80	18,10	21,00
2	K (m/s) $\times 10^{-5}$	0,5	0,7	1,1	0,6	1,9	1,2	1,0
	γ_d (kN/m ³)	17,30	17,10	16,80	16,20	16,60	16,20	16,80

Etant donné que les valeurs de perméabilité sont comparables en présence ou non du géotextile, la perméabilité des géotextiles vierges est très forte vis-à-vis de celle du sol (2) :

$$\psi_{BD} \approx 2 \text{ s}^{-1} \quad \psi_{TP} \approx 0,2 \text{ s}^{-1}$$

$$\psi_{Sol 1} \approx 10^{-5} \text{ s}^{-1} \quad \psi_{Sol 2} \approx 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

pour une épaisseur de 1 cm de sol.

$$\psi_{Global} = \frac{1}{\frac{1}{\psi_{Sol}} + \frac{1}{\psi_{Geotextile}}} = \psi_{Sol}$$

Le résultat trouvé sur le complexe sol géotextile montre l'absence de colmatage aussi bien du TP que du BD.

Examen des géotextiles : après compactage, le géotextile présente des empreintes de silice blanche qui marquent l'emplacement des billes. C'est à ces endroits qu'on peut observer la présence la plus nette de sol inclus, figure 13.

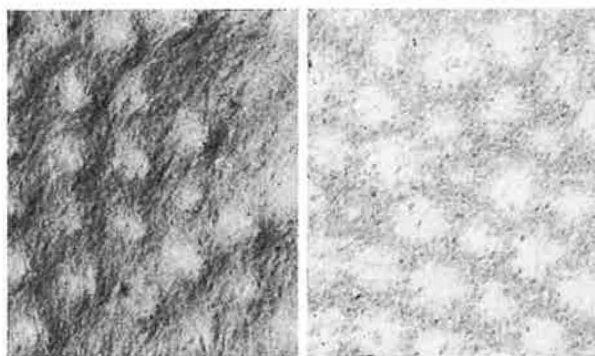


Fig. 13 - Géotextile en fin d'essai. Adroite : côté sol
A gauche : côté drain.

2 ESSAIS STATIQUES (Simulation de l'ouvrage en service)

Le dispositif expérimental est analogue à celui présenté pour les essais dynamiques : le complexe sol-géotextile-billes de verre de 150 mm de diamètre est comprimé par un piston grâce à un système de bras de levier pouvant exercer une contrainte normale au plan du géotextile allant jusqu'à 1 000 kPa, figure 14.

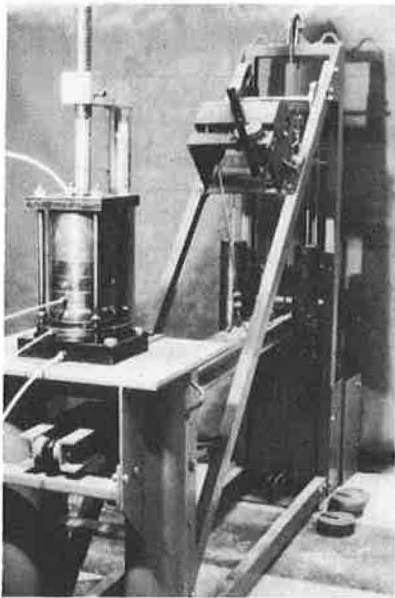


Fig. 14 - Cellule d'essais statiques

Après saturation de l'ensemble par montée lente de l'eau dans la cellule, depuis les billes vers le sol, un écoulement permanent est établi du sol vers les billes. Le débit est mesuré par pesée ou à l'aide d'un débitmètre.

Des capteurs de pression branchés à la base du piston, dans les billes et à différents niveaux dans le sol permettent de déterminer les pertes de charge ΔH entre plusieurs points :

- ΔH dues au sol seul,
- ΔH dues au sol + géotextile,
- ΔH dues au géotextile et à quelques mm de sol.

Ce sont des capteurs de pression à membrane, sans variation de volume ce qui permet de faire des mesures de pression avec des temps de stabilisation très courts malgré la faible perméabilité du sol.

Le but est de suivre l'évolution des permittivités respectives dans le temps. La durée des essais a été de 1 jour, 1 semaine ou 2 mois.

Sous les billes de verre, un papier filtre à forte rétention de particules permet de récupérer par lavage le sol passé au travers du géotextile. Des tests ont montré qu'aux vitesses d'écoulement utilisées, au maximum de $3 \cdot 10^{-5}$ m/s, les pertes au travers du papier filtre étaient négligeables.

Sous compression statique, nous n'avons testé que le sol 1, en présence des géotextiles BD, TP et GSM 700, ce dernier étant un nontissé aiguilleté à fibres courtes à très forte porosité et très compressible (3).

2.1 Etude du passat

a - Influence du gradient de perte de charge dans le sol

Une série d'essais sous faible compression (10 kPa) a été réalisée sur BD avec des gradients $i = \Delta H/b$ allant de 0,5 à 30. Nous avons porté sur la figure 15 les masses de passat, par unité de surface de géotextile, en fonction de la vitesse d'écoulement mesurée.

Etant donnée la faible perméabilité du sol, $K = 7 \cdot 10^{-7}$ m/s, des gradients élevés n'engendrent pas des vitesses d'écoulement suffisamment grandes pour obtenir des variations de masse des passats significatives. Il en est de même pour la granulométrie : il n'a pas été observé une influence particulière du gradient de perte de charge.

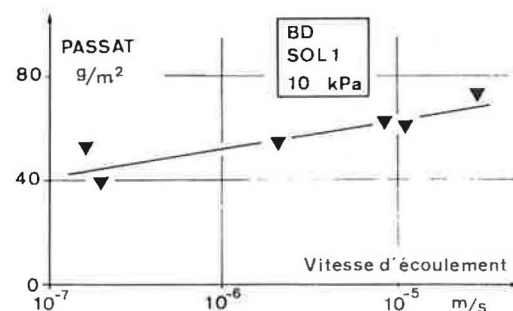


Fig. 15 - Passat en fonction de la vitesse d'écoulement

b - Influence de la contrainte appliquée

La figure 16 montre les valeurs moyennes des masses de passat obtenues pour chaque contrainte. Malgré la forte dispersion, on constate que, avec l'augmentation de contrainte, la masse des passats M_f diminue ; par ailleurs, le géotextile thermolié favorise moins le passage aux faibles compressions.

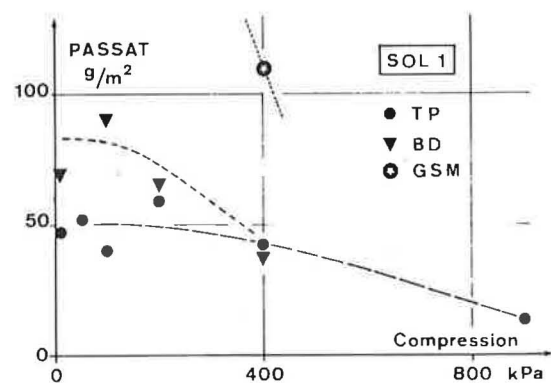


Fig. 16 - Passat en fonction de la contrainte appliquée

Les passats du GSM se trouvent réduits d'un facteur 10 pour une compression variant de 10 à 400 kPa. Les analyses granulométriques, figures 17, 18 et 19 montrent que les passats sont différents du sol d'origine (sol 1) pour BD et TP. Il n'en est pas de même pour GSM dont le passat a même granulométrie que le sol 1.

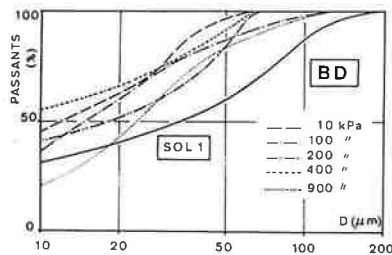


Fig. 17 - Granulométrie des passats du sol 1 avec BD

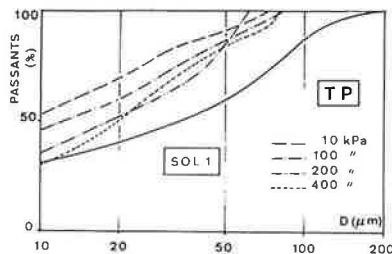


Fig. 18 - Granulométrie des passats du sol 1 avec TP

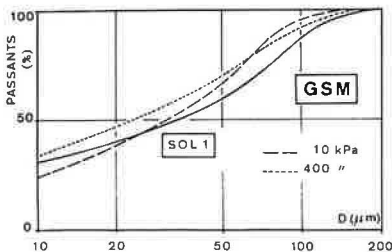


Fig. 19 - Granulométrie des passats du sol 1 avec GSM

Définissons un diamètre de filtration, comme étant égal au d_{98} du passat.

Pour l'aiguillette BD on peut noter que pour 100 kPa ou 900 kPa, on retrouve la valeur de 125 μm annoncée par FAYOUX (1). Mais pour beaucoup d'essais, dans les conditions énoncées (compressions statiques, vitesses d'écoulement faibles) le diamètre de filtration est resté bien inférieur : les particules de 70 à 125 μm qui pourraient traverser le géotextile ont pu rester piégées dans l'épaisseur de l'aiguillette, ce qui a moins de chance de se produire pour le thermolié, plus mince.

Pour le TP, la compression n'influence pas le diamètre de filtration qui est d'environ 80 μm , égal au d_{98} . Cependant lorsque la contrainte augmente, le passage des particules les plus grosses tend à croître (% de refus plus grand). La compression a un double effet :

- elle favorise la pénétration du sol dans le textile.

Si celui-ci est mince, cas du TP, le passat comprend plus de gros grains ; si il est épais, cas du BD, les chances de piégeages sont plus grandes mais aussi plus aléatoires.

- elle resserre les grains du sol entre eux, limitant la migration des particules les plus fines.

2.2 Risques de colmatage

La durée de filtration n'a pas eu, avec le sol 1 d'influence particulière, ni sur la masse du passat, ni sur sa granulométrie.

Les mesures de permittivité effectuées, figure 20, ne montrent pas de diminution notable en fonction du temps. La légère décroissance observée au niveau du géotextile n'a pas de repercussion sur la permittivité globale du complexe sol + géotextile.

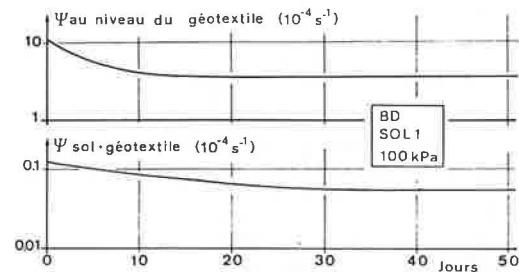


Fig. 20 - Permittivité en fonction du temps.

CONCLUSION

Les essais statiques et dynamiques se sont révélés complémentaires, faisant ressortir chacun dans son domaine d'application, le rôle de certains paramètres. Nous retiendrons en particulier le rôle de la teneur en eau sur la fraction de sol passée au travers du géotextile et sur la fraction piégée lors du compactage des sols fins, et le rôle de la contrainte appliquée sur la granulométrie des passats.

Par rapport au d_{98} obtenu à l'aide d'essais classiques de tamisage, le diamètre de filtration obtenu par essais de simulation statique peut être inférieur à cette valeur, tandis que pour des essais sous sollicitations dynamiques, il peut être nettement supérieur.

Le d_{98} n'apparaît donc pas comme une caractéristique intrinsèque du géotextile.

Pour les sols fins non cohérents considérés, quelles que soient les conditions d'essais (compression, gradient hydraulique) nous n'avons jamais observé de colmatage notable. Quant au lessivage (masse de passat) il est beaucoup moins important sous sollicitations statiques que sous sollicitations dynamiques.

REFERENCES

- (1) FAYOUX D. "Filtration hydrodynamique des sols par des textiles" C. R. Coll. Int. Sols - Textiles - Paris 1977
- (2) GOURC J.P., FAURE Y., HUSSAIN H., SOTTON M., "Essai standard de permittivité", 2nd Congrès International sur les géotextiles - Las Vegas, 1982.
- (3) GOURC J.P., FAURE Y., ROLLIN A., LAFLEUR J., "Loi structurale de perméabilité pour les géotextiles", 2nd Congrès International sur les géotextiles - Las Vegas, 1982

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient M. DERVISSOGLU A.(ITF) pour les essais dynamiques.