Third International Conference on Geotextiles, 1986, Vienna, Austria

DEGOUTTE, G. et MATHIEU, G., CEMAGREF, France

ETUDE EXPERIMENTALE DU FROTTEMENT SOL-MEMBRANES ET SOL-GEOTEXTILES A L'AIDE D'UNE BOITE DE CASAGRANDE DE 30 x 30 cm²

EXPERIMENTAL RESEARCH OF FRICTION BETWEEN SOIL AND GEOMEMBRANES OR GEOTEXTILES USING A 30 x 30 cm² SHEARBOX

PRÜFUNG DES REIBUNGSVERHALTENS VON BODEN UND GEOTEXTILIEN ODER BODEN UND GEOMEMBRANEN MIT EINEM CASAGRANDE-GERÄT (SCHERFLÄCHE 30 x 30 cm²)

L'utilisation de géotextiles ou de membranes devient de plus en plus fréquente dans les ouvrages de génie-civil. Leur dimensionnement nécessite la connaissance des caractéristiques de frottement. Pour cela, le Groupement d'Aix-en-Provence du CEMAGREF a mis au point une boîte de Casagrande de grande dimension. Nous présentons les caractéristiques de cet équipement ainsi que les résultats de frottement obtenus entre sols et géotextiles ou géomembranes. Il apparaît que le comportement de ces matériaux dépend très fortement de la contrainte normale à laquelle ils sont soumis.

During the last years, there has been a continuous growth in the use of geotextiles and geomembranes. They are utilized in a lot of projects, such as dams. Their design needs the detemination of friction properties.

Thus, the CEMAGREF (Aix-en-Provence) built a large CASAGRANDE apparatus. We describe the characteristics of this equipment and also the results of friction tests between soil and geotextile or geomembrane. Behaviour of these materials is mainly depending on normal stress wich is exerted.

I. - PREAMBULE.

L'utilisation de géotextiles ou géomembranes devient de plus en plus fréquente dans les ouvrages de génie-civil tels que les barrages. On commence à les utiliser depuis peu dans des barrages importants. L'utilisation de ces matériaux nécessite de connaître leurs caractéristiques de frottement pour permettre de dimensionner les pentes des talus sur lesquels on les pose. Nous avons donc construit à cette fin une boîte de Casagrande grand format.

II. - DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE :

L'appareil se compose :

- d'une centrale hydraulique qui permet la stabilisation et la régulation des efforts de compression et de cisaillement,
- d'un bâti métallique rigide support des vérins hydrauliques qui transmettent les efforts à la boîte de cisaillement dont les dimensions intérieures sont : 30 x 30 x 30 cm³.

2-1/ : CENTRALE HYDRAULIQUE :

La centrale hydraulique comporte une bâche d'huile et une pompe électrique pour obtenir la pression hydraulique nécessaire à l'alimentation des différents composants. Cette pression alimente des valves de régulation de pression ainsi que des électro-distributeurs qui commandent la force appliquée à chacun des vérins.

- Application et stabilisation des efforts de compression :

Une valve de régulation de pression permet de stabiliser la pression pendant toute la durée de l'essai. Cette pression régulée alimente un électro-distributeur qui commande un vérin hydraulique permettant une contrainte appliquée sur le sol de 1,4 MPa environ.

- Application et régulation des efforts horizontaux de cisaillement :

Le principe est le même, mais la valve de régulation est pilotée électriquement par l'intermédiaire d'un rhéostat actionné par un moteur électrique à vitesse variable. Cela permet d'obtenir des vitesses de translation de 0,8 à 1,6 cm/heure. Ce pilotage permet de faire croître la pression dans l'électro-distribution qui commande deux vérins hydrauliques autorisant une contrainte maximale de cisaillement d'environ 1,1 MPa.

2.2/ - STRUCTURE METALLIQUE ET BOITE DE CASAGRANDE :

Les dimensions intérieures de la boîte sont celles d'un cube de 30 cm de côté. La demi-boîte inférieure est fixée sur un bâti rigide, tandis que la partie supérieure coulisse librement dans la direction du cisaillement sur une longueur de 8 cm. Les efforts de cisaillement sont appliqués sur la demi-boîte supérieure par l'intermédiaire d'un col de cygne qui permet d'appliquer cet effort dans le plan de cisaillement. La direction de cet effort reste invariable durant la totalité de l'essai.

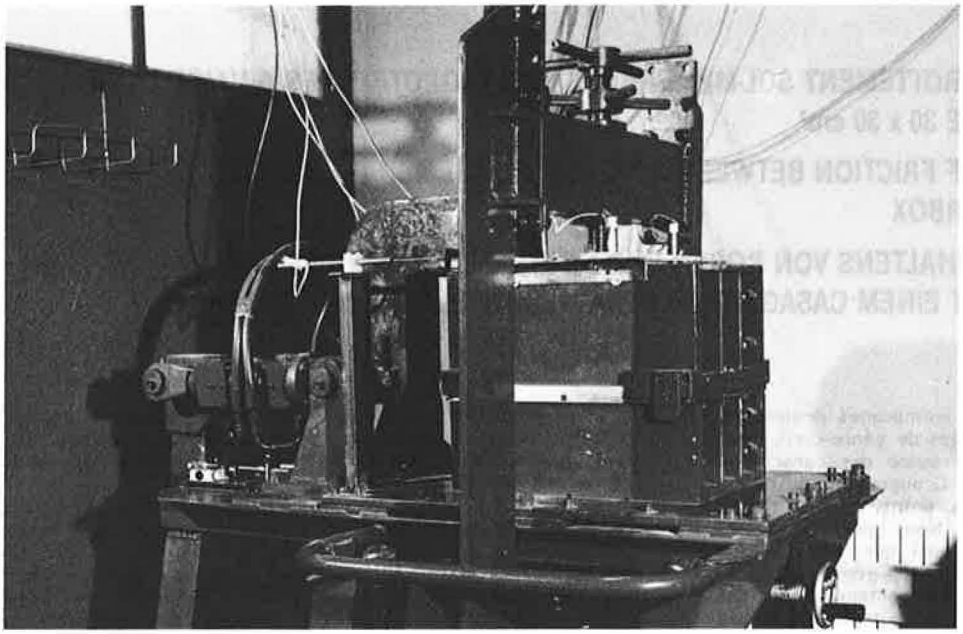

FIGURE 1 : Vue d'ensemble de la boîte avec son étrier métallique et les vérins horizontaux.

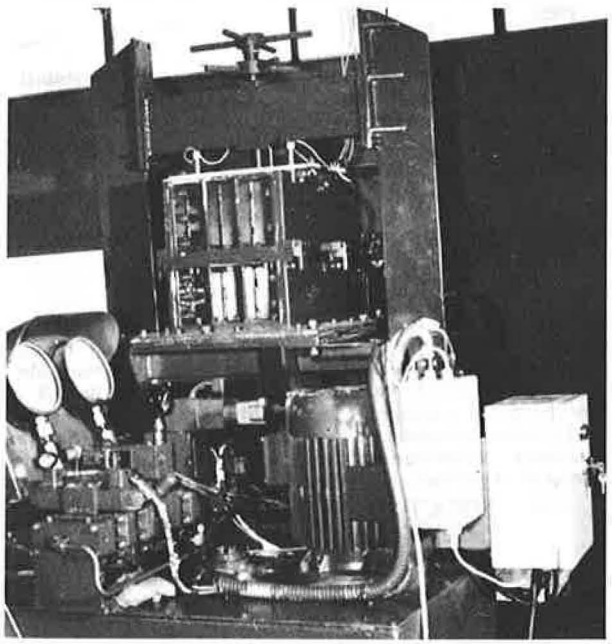

FIGURE 2 : Vue de face avec son étrier métallique ainsi que la centrale hydraulique au premier plan.

Un vérin applique les efforts verticaux de compression à la partie supérieure de l'échantillon par l'intermédiaire d'une plaque métallique rigide. La transmission de cet effort se fait par l'intermédiaire d'un étrier métallique qui chevauche la boîte de cisaillement. Une possibilité de réglage de la position du vérin permet de compenser la composante horizontale de la force de compression si la rupture survient avec un déplacement relatif important.

2.3/ - ENREGISTREMENT DES MESURES :

Les efforts de cisaillement ainsi que les déplacements horizontaux ou verticaux sont mesurés à l'aide de capteurs reliés à une centrale de mesure (un capteur de pression, un de déplacement horizontal, trois de déplacement vertical).

III. - MODE OPERATOIRE :

3.1/ - COMPACTAGE :

La densité du sol dans la boîte est celle qui correspond à l'énergie du Proctor Normal. Pour cela on compacte par demi-boîte cinq couches de sol, par pressage statique. Ce pressage est appliqué par le vérin utilisé pour transmettre l'effort normal lors de l'essai de cisaillement. On augmente la force appliquée jusqu'à ce que la couche à compacter ait l'épaisseur correspondant à la densité requise.

Pour déterminer les caractéristiques internes d'un sol on procède de même dans les deux demi-boîtiers superposés, mais avec un nombre total de couches impair.

3.2/ - MEMBRANE OU GEOTEXTILE :

Par la suite le mot "nappe" sera utilisé pour désigner indifféremment un géotextile ou une membrane.

Pour éviter de mesurer à la fois des efforts de frottement et des efforts d'ancrage, on colle l'échantillon de nappe (30 x 30 cm²) sur un support rigide, amovible, placé dans le demi-boîtier inférieur. Ce support est constitué d'une plaque de contreplaqué perdue sur laquelle est collé l'échantillon, et posée sur un bloc de bois rigide. Des vis placées sous cette cale assurent le réglage afin de faire coïncider la face supérieure de la nappe avec le plan de cisaillement (voir figure 3).

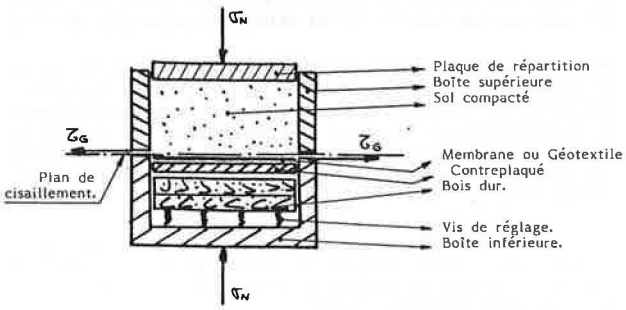

FIGURE 3 : Mise en oeuvre : principe de l'essai de frottement sol-membrane ou géotextile.

3.3/ - ESSAI SOL-NAPPE :

Le sol est compacté dans le demi-boîtier supérieur, placé au-dessus du demi-boîtier inférieur, obturé par la nappe et son support.

Chaque essai comporte 4 ou 5 ruptures opérées sous des contraintes normales élevées, comprises entre 0,2 et 1,2 MPa.

IV. - RESULTATS :

4.1/ - SOLS ETUDIES :

Les frottements ont été étudiés avec deux matériaux: un sable et un sable argileux :

- le sable a une granulométrie étroite (d_{60}/d_{10} = 2 d_{50} = 0,3 mm).
  Il a été utilisé à l'état sec (teneur en eau de 5,2 %) et relativement lâche (densité sèche = 1,60). Son angle de frottement interne ϕ est de 39°.

- le sable argileux a 23 % d'éléments inférieurs à 80 microns et 7 % d'éléments inférieurs à 2 microns. Son indice de plasticité est de 13 %. Il a été compacté à une teneur en eau de 12,5 % et avec une densité sèche de 1,84. Les caractéristiques mécaniques sont :
  c = 50 kPa et ϕ = 35,5°.

Les caractéristiques mécaniques indiquées sont mesurées avec le même appareil que pour les essais de frottement.

4.2/ - CRITIQUE DES RESULTATS OBTENUS AVEC LA GRANDE BOITE :

Pour deux pressions normales différentes, et avec le sable, nous avons effectué un grand nombre d'essai dans les mêmes conditions. L'écart maximum des contraintes de cisaillement maximales mesurées n'est que de ± 5 % autour des valeurs moyennes.

Des essais comparatifs ont été réalisés pour le sable avec la grande boîte et une boîte 5 x 5 cm². Les résultats (voir figure 4) concordent bien dans le domaine des fortes contraintes normales. Par contre, pour les faibles contraintes la grande boîte donne des valeurs systématiquement supérieures. Nous pensons que cet écart est dû à des effets de paroi (effet de silo, butée, frottement sol-parois) supérieurs avec la petite boîte. En effet, si l'on applique un même effort normal à un sable ayant la même densité initiale, on constate que la densité après consolidation est supérieure pour la grande boîte.

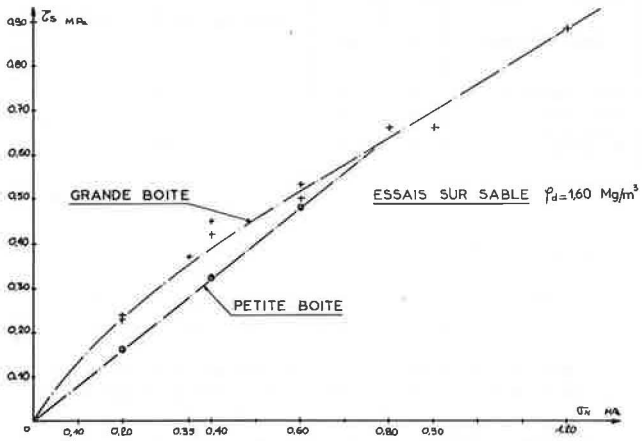

FIGURE 4 : Comparaison des courbes caractéristiques du sable mesurées à la boîte 30 x 30 cm² et à la boîte 5 x 5 cm².

4.3/ - RESULTATS DE MESURE DE FROTTEMENT.

Dans le tableau ci-après, figurent :

- les angles de frottement mesurés : interne et avec nappe. (il s'agit de valeurs moyennes, dans la plage 0,2 à 1,2 MPa).

- la valeur du rapport $f = \tau_g / \tau_s$ pour diverses contraintes normales où :

τ_g = contrainte de cisaillement maximale sol-nappe,

τ_s = contrainte de cisaillement maximale du sol.

Ce ratio peut aussi s'écrire $f = tg\ \phi_g / tg\ \phi_s$ avec:

ϕ_g = angle de frottement sol-nappe au voisinage de la contrainte normale considérée,

ϕ_s = angle de frottement interne du sol, dans les mêmes conditions.

Nous verrons que l'évolution de ce coefficient f avec la contrainte normale présente un certain intérêt.

Les diagrammes relatifs à ces essais sont joints en figure 5.

ESSAIS GRANDE BOITE	ϕ_S	ϕ_G	Valeurs de f pour divers σ_n (MPa)				
			0,2	0,35	0,6	0,9	1,2
Sable - Géotextile 1	39°	36°	0,81	0,76	0,87	0,86	1,0
Sable - PVC	39°	36°5	0,69	0,78	0,88	0,98	
Sable saturé - PVC	39°	36°5	0,83	0,76	0,88	1,01	
Sable argileux - Géotextile 1	33°5	39°	1,2	1,0	1,0	1,17	
Sable argileux - PVC	33°5	35°	0,76	0,80	0,87	1,06	

Nous donnons également ci-dessous les résultats de travaux exécutés dans les mêmes conditions, mais avec une petite boîte de 5 cm x 5 cm.

ESSAIS PETITE BOITE	ϕ_S	ϕ_G	Valeurs de f pour σ_n = 0,2 MPa
Sable - Géotextile 2	39°	34°	0,85
Sable - béton	39°	34°	0,85
Sable - acier brut de laminage.	39°	25°5	0,59

Nous constatons :

- que l'état de teneur en eau du sable étudié n'influe pas sur son comportement vis à vis d'un matériau lisse ;
- que le frottement obtenu avec le sol argileux est supérieur à celui obtenu avec le sable vis à vis d'un géotextile ;
- que l'argile "glisse sur le matériau lisse" et glisse moins sur le géotextile (plus précisément, tout se passe comme si le géotextile agglomérait les grains de sol proches de la surface de contact lorsqu'ils ont un diamètre inférieur à sa maille. On mesure alors plutôt un frottement sol-sol ou même sol-sol renforcé. Nous pensons qu'il est alors plus correct de limiter la valeur de frottement à celle obtenue pour le sol seul) ;
- les rapports $f = \tau_g/\tau_s$ croissent nettement avec la charge appliquée. Ce dernier résultat est important. D'une part,il infirme la possibilité espérée de trouver un coefficient caractéristique de la nappe comme, par exemple, le rapport $tg\ \phi_s\ /\ tg\ \phi_g$. D'autre part, sous faible contrainte, le coefficient de frottement peut être très sensiblement inférieur à celui du sol. (Il peut être de l'ordre de la moitié sous les très faibles contraintes). Il faut donc se garder d'utiliser un résultat de mesure de frottement sans se soucier de la plage de contraintes de compression pour laquelle il a été établi : cela pourrait aller dans le sens de l'insécurité.
- Enfin, pour les très fortes contraintes, de l'ordre du MPa, le coefficient f est sensiblement égal à 1. Tout se passe comme si, sous l'effet de la charge, le géotextile ou la membrane faisait corps avec le sol ou s'en imprégnait.

V. - CONCLUSION :

L'appareil et le mode opératoire utilisés nous ont permis de mesurer des frottements sol-géotextile et sol-membrane. Les résultats sont cohérents et l'appareillage permet de tester une grande gamme de contraintes normales, avec des valeurs maximales du même ordre que celles rencontrées dans les grands ouvrages.

- Lorsque la granulométrie du sol est fine par rapport à la maille du géotextile, le frottement géotextile-sol se rapproche du frottement interne du sol (effet d'adhérence).
- Pour de très fortes contraintes de compression, de l'ordre du MPa, on obtient un résultat analogue quels que soient les sols et les nappes (effet d'imprégnation par le sol),
- Mais pour des sols plus grossiers par rapport à la maille du géotextile, et pour des contraintes faibles (jusqu'à 0,3 MPa), le coefficient de frottement du géotextile peut être sensiblement inférieur au coefficient de frottement interne du sol (de 20 à 50 %). De plus le rapport entre ces deux coefficients varient fortement avec l'état de contrainte,
- Il en résulte que la pente assurant la stabilité d'un géotextile ou d'une membrane peut être sensiblement inférieure à celle nécessitée pour la stabilité du talus seul. Pour un petit barrage, on peut éviter cet inconvénient en ancrant la nappe et en comptant sur sa résistance à la traction. Mais pour les grands barrages, le comportement au frottement de la nappe devient un paramètre très important et il y a intérêt à choisir les divers interfaces en fonction de ce problème.

BIBLIOGRAPHIE

- COLLIOS - "Loi d'interaction mécanique sol-géotextile". Thèse présentée à l'Université Scientifique et Médicale de GRENOBLE (1981).
- PICCIO et DELCORPS : "Etude expérimentale du frottement entre membranes d'étanchéité et lits de pose". Colloque "Etanchéité Superficielle" (PARIS 1983).
- GRABE : "Prüfung des Reibungsverhaltens von Geotextilien". Nationales Symposium Geotextilien im Erd-und Grundbau - (Mainz 1984).

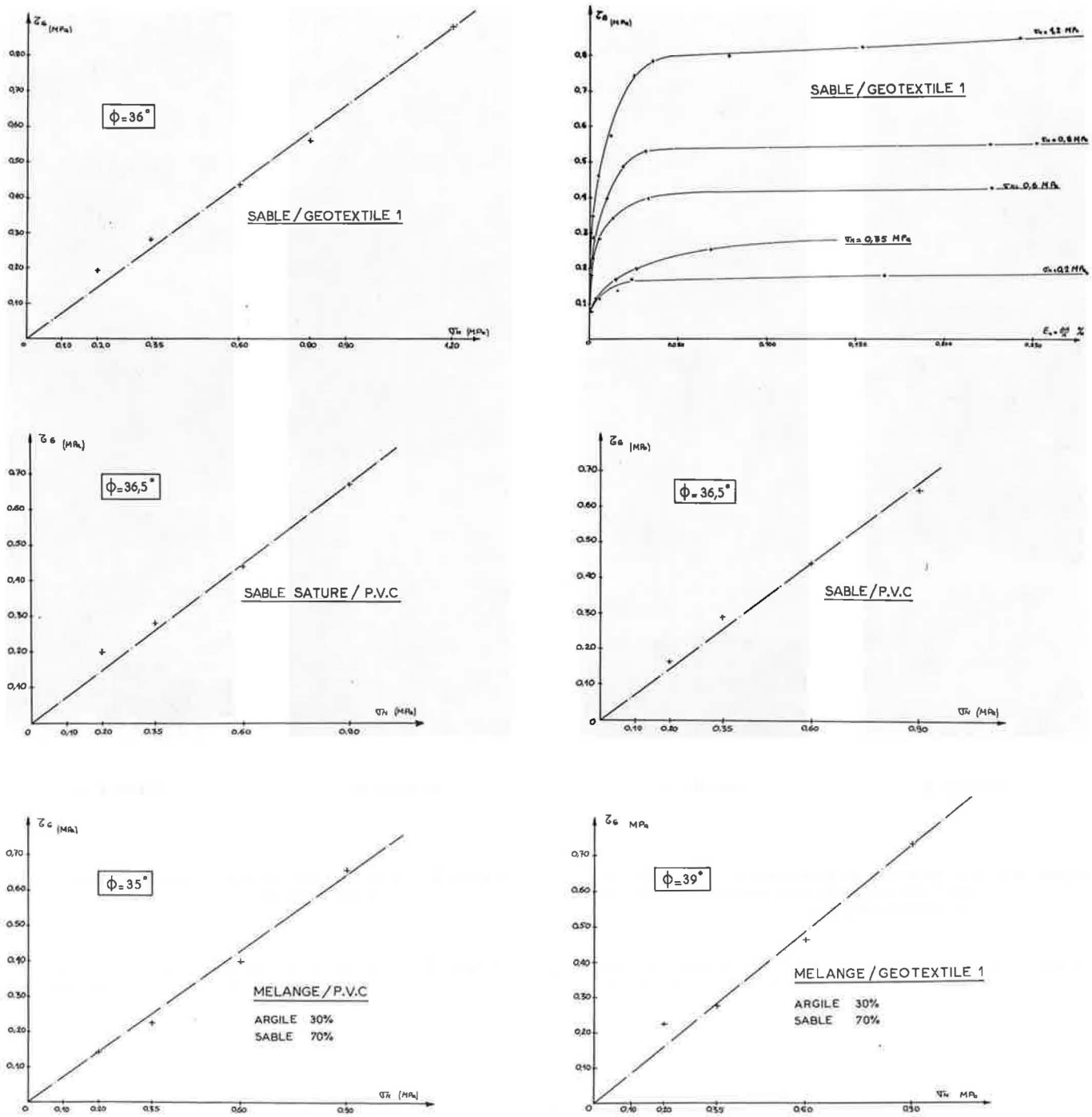

FIGURE 5 : Diagrammes d'essais de frottement à la grande boîte.

FIGURE 6.

FIGURE 7.

FIGURE 8.

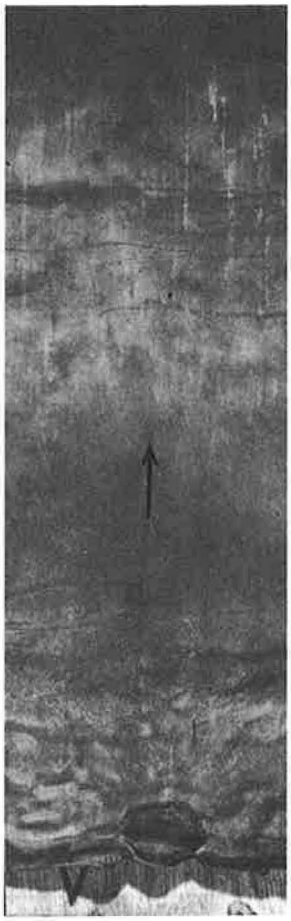

FIGURE 9.

Figure 6 : Vue partielle du géotextile 1 après essai sous une contrainte normale élevée. Le tissu est localement entraîné.

Figure 7 : Vue partielle du géotextile 1 après un essai sous une faible contrainte normale (0,2 MPa).

Figure 8 : Vue partielle du P.V.C. après un essai sous 0,9 MPa. On remarque les rainures.

Figure 9 : Vue partielle du P.V.C. après un essai sous 0,9 MPa où la membrane s'est décollée du contreplaqué (essai non retenu).