

# sur l'usage de la gaine interne au cours de l'essai triaxial

par

**F. Molenkamp**

Laboratoire de Mécanique des Sols de Delft

Section  
Modèles Numériques  
Bibliothèque

La déformation mesurée des matériaux granulaires lors de l'essai triaxial n'est pas seulement due à la déformation de l'échantillon lui-même mais encore à des phénomènes de pénétration de la gaine latérale (Newland, Allely, 1957, 1959) et de la gaine à l'emplacement des couches de graissage aux plaques de répartition (Sarsby, Kalteziotis, Haddad, 1980).

On pourrait corriger l'effet de ces phénomènes à l'aide d'étalonnages (Molenkamp, Luger, 1981; Molenkamp, 1982), tout en acceptant les imprécisions entraînées par cette correction.

Si possible, il est préférable de modifier le dispositif d'essai de façon que le problème soit en grande partie éliminé. Kiekbusch, Schuppener (1977) ont développé une méthode expérimentale pour remplir les interstices entre la gaine latérale déchargée et les grains extérieurs de l'échantillon, par laquelle cette pénétration peut être diminuée jusqu'à environ 15 pour cent. Un défaut de cette méthode peut être que les grains entourant la gaine soient collés par le remplissage et forment de ce fait un cylindre relativement rigide qui est à son tour un soutien pour l'échantillon. L'importance de ce phénomène est encore mal connue. Molenkamp, Luger (1981) suggèrent, sur des bases théoriques, l'usage d'une gaine plus rigide pour minimiser lors des essais triaxiaux non drainés les erreurs combinées qui sont entraînées par la pénétration et le soutien latéral de la gaine. Cependant la rigidité de la gaine semble donner lieu à des perturbations pendant la préparation de l'échantillon.

Habib, Luong (1982) emploient une gaine interne (fig. 1) supposant que la pénétration de cette gaine sera relativement petite. On mesure la variation de volume de l'échantillon interne seul.

L'effet de cette méthode sur la contrainte radiale est examiné ci-après.

\* Cf. note technique : suppression des perturbations dues à l'effet de membrane dans les mesures de variations de volume au cours de l'essai triaxial par P. Habib et M. P. Luong, n° 20, pp. 78-79.

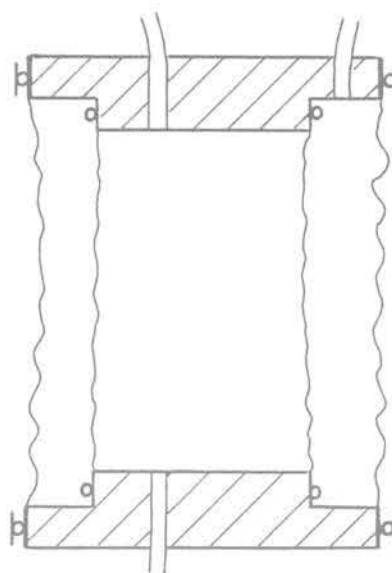


Fig. 1 Dispositif à double membrane

Si une contrainte effective agit sur une gaine interne (fig. 2) les grains entourant la gaine se réorienteront pour transmettre les efforts intergranulaires. De plus les grains au contact de la gaine seront un peu enfoncés dans celle-ci. Ces phénomènes combinés causeront un déplacement relatif entre les grains de part et d'autre de la gaine. La rigidité effective de cette gaine pourra être plus grande que celle de la gaine externe, parce que, si la pression interstitielle des deux côtés est identique, la distribution des contraintes internes peut aussi avoir une influence sur la rigidité.

Pour obtenir une estimation de cet effet, considérons la contrainte radiale effective pour un échantillon élastique avec une gaine interne élastique et sans déformation axiale. Le matériau granulaire et la gaine ont un module de glissement  $G_1$ , respectivement  $G_2$  et un coefficient de Poisson  $\nu_1$ , respectivement  $\nu_2$ .

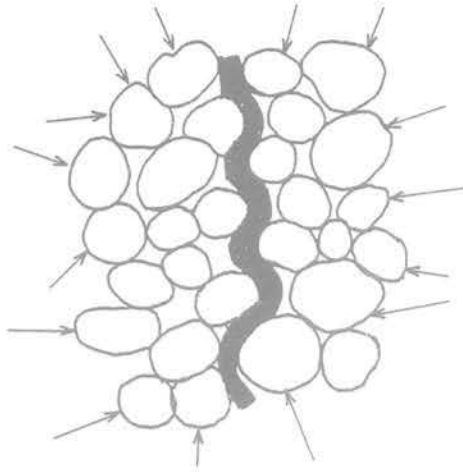


Fig. 2 Pénétration de la gaine interne

La solution pour chaque région porte que :

$$u = \frac{A}{r} + Br \quad (1)$$

$$\sigma = -\frac{2G}{r^2} A + \frac{2G}{(1-2\nu)} B \quad (2)$$

avec :

A, B : les constantes d'intégration

u : le déplacement radial

$\sigma$  : la contrainte radiale

r : la distance radiale par rapport au centre.

La substitution des conditions aux limites conduit aux solutions suivantes pour le rapport entre la contrainte radiale  $\sigma$  et la pression de soutien  $\sigma_c$ .

Pour :  $0 \leq r \leq r_1$ ; où  $r_1$  : le rayon interne de la gaine interne.

$$\frac{\sigma}{\sigma_c} = \frac{(Z-1) G_2}{D \left(\frac{r_1}{r_3}\right) G_1} \left\{ 1 + \frac{1}{(1-2\nu_2)} \right\} \quad (3)$$

avec :

$$Z = \frac{\left( 1 + \frac{1}{\left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2 (1-2\nu_1)} \right)}{\left( 1 - \frac{1}{\left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2} \right)} \quad (4)$$

$$D = Z \frac{G_2}{G_1} \left[ \frac{\frac{r_1}{r_3}}{\left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2} + \frac{1}{\left(\frac{r_1}{r_3}\right) (1-2\nu_2)} + \frac{G_2 (1-2\nu_1)}{G_1 (1-2\nu_2)} \left\{ \frac{1}{\left(\frac{r_1}{r_3}\right)} - \frac{\left(\frac{r_1}{r_3}\right)}{\left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2} \right\} + \frac{1}{(1-2\nu_1)} \right] + \frac{1}{(1-2\nu_1)} \left\{ \frac{\left(\frac{r_1}{r_3}\right)}{\left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2} - \frac{1}{\left(\frac{r_1}{r_3}\right)} \right\} - \frac{G_2}{G_1} \left\{ \frac{1}{(1-2\nu_2)} \frac{\left(\frac{r_1}{r_3}\right)}{\left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2} + \frac{1}{\left(\frac{r_1}{r_3}\right)} \right\} \quad (5)$$

Pour  $r_1 \leq r \leq r_2$ ; où  $r_2$  : le rayon externe de la gaine interne :

$$\frac{\sigma}{\sigma_c} = \frac{(Z-1) G_2}{D} \frac{G_1}{G_1} \left[ \frac{\frac{r_1}{r_3}}{\left(\frac{r}{r_3}\right)^2} \left\{ 1 - \frac{G_2(1-2\nu_1)}{G_1(1-2\nu_2)} \right\} + \frac{1}{\frac{r_1}{r_3} (1-2\nu_2)} \left\{ 1 + \frac{G_2}{G_1} (1-2\nu_1) \right\} \right] \quad (6)$$

Pour  $r_2 \leq r \leq r_3$ ; où  $r_3$  : le rayon externe de l'échantillon.

$$\frac{\sigma}{\sigma_c} = 1 - \frac{1 - \frac{1}{\left(\frac{r}{r_3}\right)^2}}{1 - \frac{1}{\left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2}} - \left\{ 1 + \frac{(1-Z) G_2}{D} \frac{G_1}{G_1} \left[ \frac{\left(\frac{r_1}{r_3}\right)}{\left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2} + \frac{1}{\left(\frac{r_1}{r_3}\right) (1-2\nu_2)} + \frac{G_2(1-2\nu_1)}{G_1(1-2\nu_2)} \left\{ \frac{1}{\left(\frac{r_1}{r_3}\right)} + \frac{-\left(\frac{r_1}{r_3}\right)}{\left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2} \right\} \right] \right\} \quad (7)$$

Les figures 3a et 3b montrent ce rapport  $\frac{\sigma}{\sigma_c}$  pour

$\frac{r_1}{r_3} = 0,6$ ,  $\frac{r_2}{r_3} = 0,605$ ,  $\nu_2 = 0$  et  $\frac{G_2}{G_1} = 0,01, 0,03, 0,05, 0,1$  et 1.

Notamment pour la figure 3a)  $\nu_1 = 0,45$  et pour la figure 3b)  $\nu_1 = 0$ . Quant aux valeurs du rapport  $\frac{G_2}{G_1}$  on peut

supposer que la rigidité effective de la gaine interne sera inférieure à celle du caoutchouc c'est-à-dire  $G_2 < \sim 1,1$  MPa. On peut supposer ensuite que souvent, pour des sables  $G_1 > \sim 10$  MPa; alors probablement  $\frac{G_1}{G_2} \ll 0,1$ . La contrainte radiale paraît uniforme à l'intérieur de la gaine interne et elle augmente à partir de la gaine interne jusqu'à la pression de soutien au bord extérieur. A l'intérieur de la gaine interne la contrainte radiale diminue quand le rapport  $\frac{G_2}{G_1}$  diminue.

Pour l'épaisseur choisie de la gaine  $\left(\frac{r_2 - r_1}{r_3} = 0,005\right)$  la réduction de la contrainte radiale monte à environ 4 à 32 pour cent pour des valeurs du rapport effectif  $\frac{G_2}{G_1}$ , situées entre 0,05 et 0,01.

Des erreurs de cet ordre peuvent se produire pour les valeurs des augmentations des contraintes radiales. Une meilleure estimation de l'importance de la réduction peut être obtenue par mesure directe de la rigidité effective de la gaine.

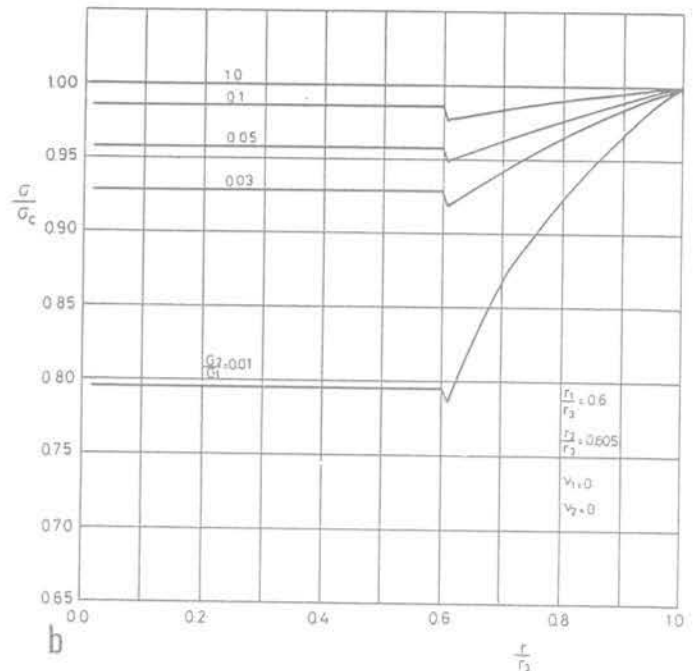
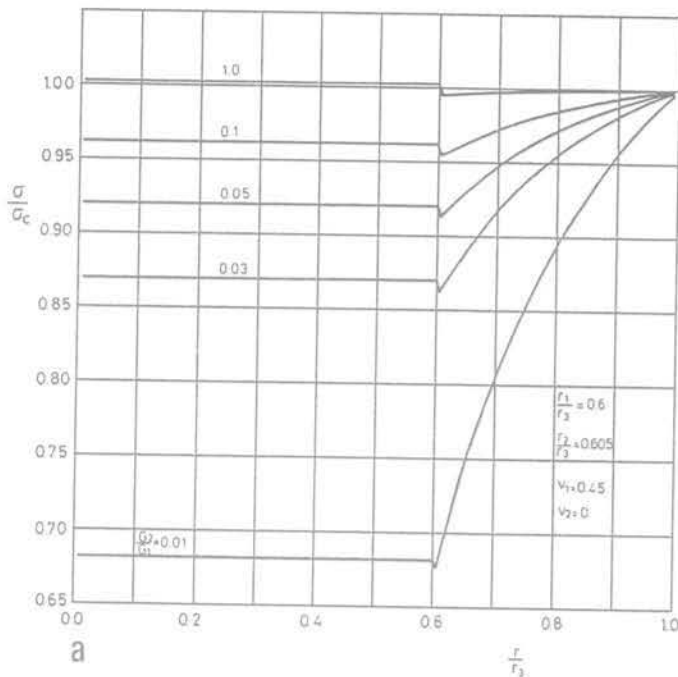


Fig. 3 Rapport entre la contrainte radiale  $\sigma$  et la pression de soutien  $\sigma_c$  en fonction du rapport entre le rayon  $r$  et le rayon externe  $r_3$  pour plusieurs valeurs du rapport entre la rigidité effective de la gaine  $G_2$  et la rigidité du matériau granulaire  $G_1$ .  
a)  $\nu_1 = 0.45$  - b)  $\nu_1 = 0$ .

### Références bibliographiques

- Habib P., Luong M. P. (1982).  
Suppression des perturbations dues à l'effet de membrane dans les mesures de variations de volume au cours de l'essai triaxial. *Revue Française de Géotechnique*, Numéro 20, Août, 78-79.
- Kiekbusch M., Schuppener B. (1977).  
Membrane penetration and its effect on pore pressures, *Journal Geotechn. Engng. Div., Am. Soc. Civ. Engrs.*, 103, GT 11, 1267-1279.
- Molenkamp F. (1982).  
Some comments on testing and modelling, *International Workshop on Constitutive behaviour of soils*, Grenoble, Sept.
- Molenkamp F., Luger H.J. (1981).  
Modelling and minimization of membrane penetration effects in tests on granular soils, *Geotechnique* 31, N° 4, 471-486.
- Newland P.L., Allely B.H. (1957).  
Volume changes in drained triaxial tests on granular materials. *Geotechnique* 7, N° 1, 17-34.
- Newland P.L., Allely B.H. (1959).  
Volume changes during undrained triaxial tests on saturated dilatant granular materials, *Geotechnique* 9, N° 4, 174-182.
- Sarsby R.W., Kalteziotis H., Haddad E.H. (1980).  
Bedding error in triaxial tests on granular media, *Geotechnique* 30, N° 3, 302-309.

## réponse à la discussion du D<sup>r</sup> Frans Molenkamp

par

P. Habib et M. P. Luong

La discussion « Sur l'usage de la gaine interne au cours de l'essai triaxial » du D<sup>r</sup> Frans Molenkamp a montré le grand intérêt que portent les expérimentateurs en mécanique des sols à la mesure des variations de volume lors des essais triaxiaux sur des éprouvettes de sable protégées par des gaines souples.

La formule (3) nous a cependant un peu étonné, car il nous semble que pour  $0 \leq r \leq r_1$ , le rapport  $\frac{\sigma}{\sigma_c}$  devrait être constant au lieu d'être une fonction de  $\frac{1}{r}$ .

Les courbes des figures 3a et 3b dressées par le

D<sup>r</sup> Frans Molenkamp à partir de ses calculs sont extrêmement intéressantes car elles montrent que dans les cas les plus défavorables, le dispositif expérimental qui a été proposé donne d'excellents résultats : les échantillons de sable utilisés avaient un diamètre extérieur  $D_o = 70$  mm et intérieur  $D_i = 60$  mm soit un rapport  $r_2/r_3 = 0,857$ .

Pour un rapport  $G_2/G_1 = 0,01$ , cas limite très défavorable, la réduction maximale de la contrainte radiale est inférieure à 6,5 % d'après la figure 3a et 5 % d'après la figure 3b. Elle n'est plus que 3 % et 2,5 % pour un rapport  $G_2/G_1 = 0,03$ , ce qui apparaît comme des corrections tout à fait acceptables.