

**MILOVIC D.**

Faculté de Génie Civil, Yougoslavie

**Essais de chargement d'un sol armé****Field load tests on reinforced soil**

**SYNOPSIS** In this study are presented the results of the field load tests of rigid circular foundations of diameter  $D=60$  cm, placed on the reinforced soil. In these tests the layer beneath the foundation was reinforced either by polypropilen cords of 15 mm in diameter or with steel bars of 12 mm in diameter. This reinforcement was realised in only one or in two orthogonal directions. In the first group of field tests the behaviour of a multilayer system was examined, where the upper layer was made of gravel and the lower layer of sand. The thickness of the gravel layer was  $H_1 = 15$  cm,  $H_1 = 30$  cm and  $H_1 = 45$  cm. In the second group of field tests the upper gravel layer was reinforced by polypropilen cords  $4\phi 15$  mm in 2, 3 and 4 lines. In the third group the upper gravel layer was reinforced by steel bars  $4\phi 12$  mm in 1, 2 and 3 lines. Using the theoretical solutions for the stresses and displacements due to rigid circular foundation, laying on the multilayer system and the results obtained by field load tests, an attempt was made to find the equivalent modulus of multilayer system with the reinforced upper part.

**1. INTRODUCTION**

La terre armée, dont les premières recherches et les possibilités ont été décrites par Vidal (1966) et Schlosser et Vidal (1969), résulte de l'association d'un sol pulvérulent et de lits d'armatures, travaillant en traction du au frottement entre le sol et les armatures. Yamanouchi (1970) a utilisé le sol armé dans la technique routière. Harrison et

Gérrard (1972) étudiaient les contraintes et déplacements dans le sol armé, considéré comme un system stratifié et anisotrope. Schlosser et Long (1972) ont effectué des essais à l'appareil triaxial sur des échantillons de sable armé par des disques horizontaux de papier d'aluminium. Useawa et Nasu (1973) étudiaient l'utilisation de la terre armée dans

la construction des remblais. Schlosser et al. (1973) ont présentés deux cas concrets de la construction d'ouvrages de soutènement reposant sur des sols de faible portance. Plusieurs études ont été faites de point de vue de la capacité portante du sol armé. Milović (1970) a présenté une étude sur modèle réduit de la capacité portante des semelles de largeur  $B = 25$  cm, reposant sur le sable d'Ottawa, renforcé par l'armature en acier. Binquet et Lee (1975) ont présentés des résultats de la capacité portante des semelles de largeur  $B = 7,5$  cm. Le sol de fondation été renforcé par des bandes d'aluminium. Milovic (1977) étudiait dans le modèle réduit le comportement du sol renforcé par les cordes de polypropilène et par l'armature en acier.

## 2. DESCRIPTION DES ESSAIS

Dans cet étude sont présentés des résultats des essais de chargement sur place, effectués avec une fondation circulaire de diamètre  $D = 60$  cm. Dans la première série d'essais le sol de fondation était un système bicouche gravier - sable. L'épaisseur de la première couche (gravier) était  $H_1 = 15$  cm,  $H_1 = 30$  cm et  $H_1 = 45$  cm. La deuxième couche (sable) était de granulométrie uniforme avec  $U = 1,50$  et avec la densité sèche  $\gamma_d = 1,50 \pm 0,05$  p/cm<sup>3</sup>. Dans la deuxième série la couche supérieure était renforcée par les cordes de polypropilène  $4\phi 15$  mm dans 2, 3 ou 4 niveaux et dans deux directions orthogonales. Dans la troisième série

d'essais la couche supérieure était renforcée par l'armature en acier  $4\phi 12$  mm dans 1, 2 ou 3 niveaux. La longueur de l'armature était  $L = 300$  cm.

## 3. RÉSULTATS DES ESSAIS

Les graphiques de la figure 1 montrent les courbes contraintes verticales - tassements pour une couche de sable (courbe a), puis pour un système bicouche gravier - sable avec l'épaisseur de la couche supérieure de gravier  $H_1 = 15$  cm,  $H_1 = 30$  cm et  $H_1 = 45$  cm (courbes 1, 2 et 3).

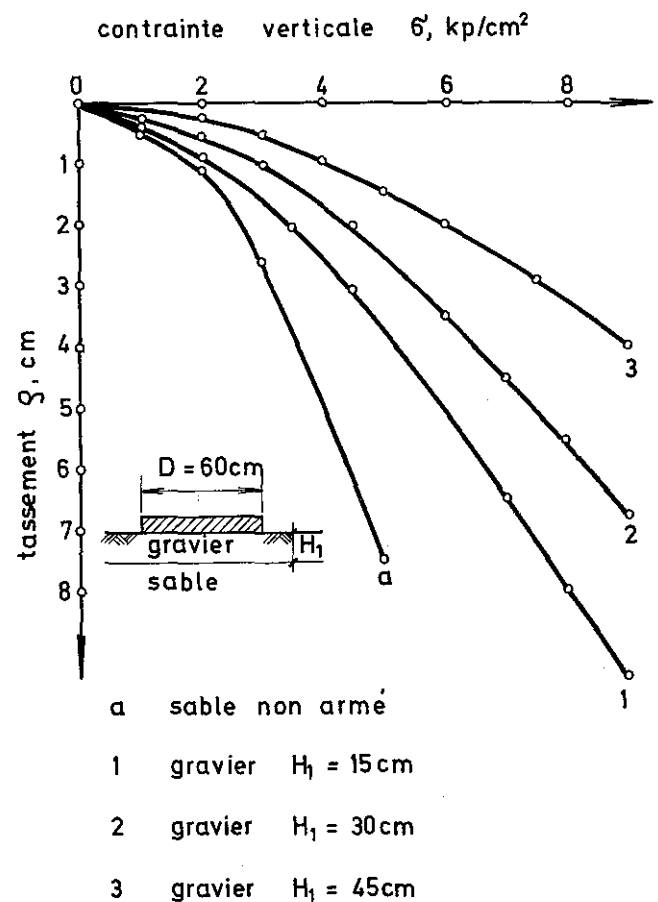


FIG. 1 COURBES  $\sigma' - s$   
BICOUCHE GRAVIER-SABLE

Les courbes de la figure 2 représentent les relations entre les contraintes et tassements obtenues pour le système bicouche, dont la couche supérieure de gravier était renforcée avec les cordes de polypropilène  $\varnothing 15$  mm (courbes 4, 5 et 6). Les cordes étaient placées à 2, 3 et 4 niveaux régulièrement espacés d'une distance  $H = 2$  cm.

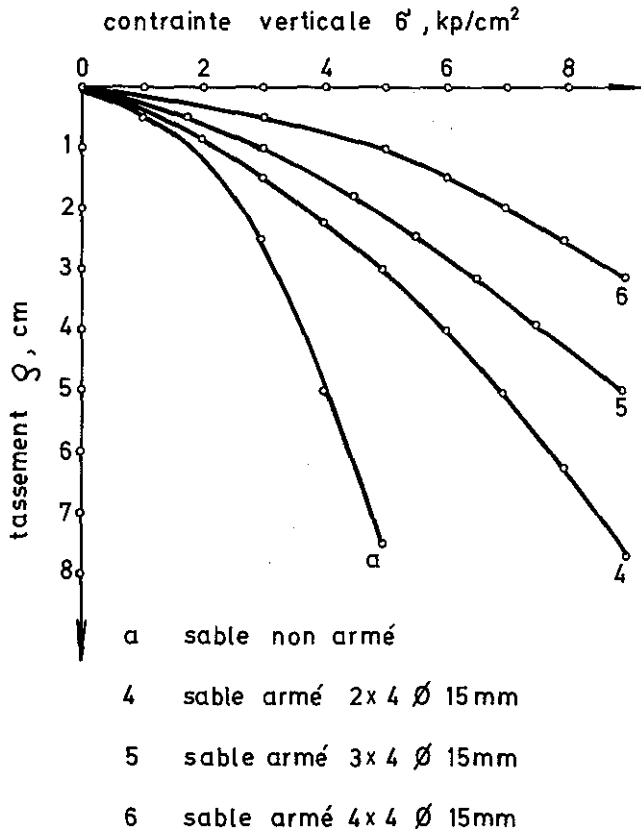


FIG. 2 COURBES  $\sigma' - S$  ; RENFORCEMENT AVEC POLYPROPYLENE A DEUX DIRECTIONS

Les graphiques de la figure 3 montrent les courbes  $\sigma' - S$  pour le système bicouche, où la couche supérieure de gravier était renforcée avec l'armature en acier  $\varnothing 12$  mm (courbes 7, 8 et 9). Les lits d'armatures étaient espacés d'une distance  $H = 2$  cm. Afin de vérifier l'effet de renforcement, les courbes du

sol renforcé (4, 5 et 6) et ces résultats sont montrés graphiquement sur la figure 4.

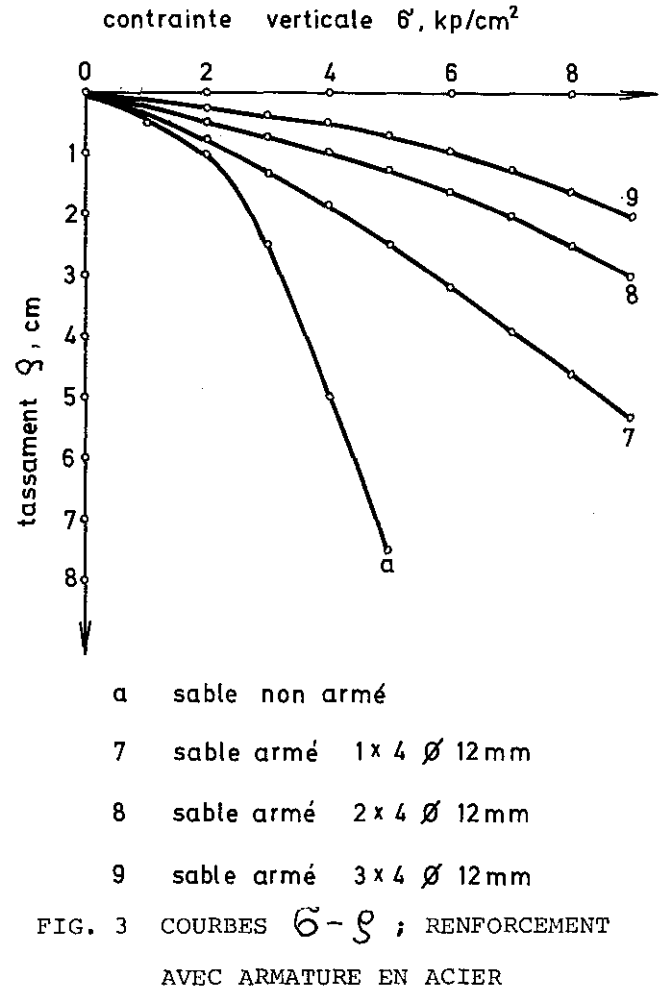


FIG. 3 COURBES  $\sigma' - S$  ; RENFORCEMENT AVEC ARMATURE EN ACIER

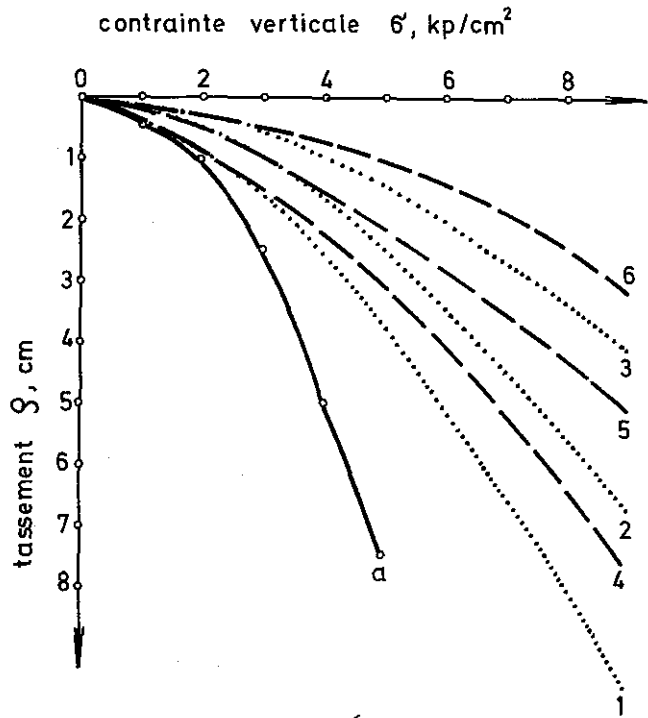
Les courbes  $\sigma' - S$  sur la figure 5 montrent l'effet d'armature en acier. Les courbes  $\sigma' - S$  pour le système bicouche non armé (1, 2 et 3) sont comparées avec les courbes du sol armé (7, 8 et 9).

#### 4. INTERPRETATION DES RÉSULTATS

##### 4.1. Système bicouche gravier - sable (non armé)

En utilisant les résultats des essais de chargement obtenus pour le système bicouche non armé (courbes 1, 2 et 3 dans la fig. 1) et les solutions théoriques pour les dépla-

cements de ce système, on a déterminé les valeurs de module du système bicouche  $E_e$  et les modules  $E_1$  de la première couche. Le module  $E_2$  de la deuxième couche était déterminé par des essais de chargement sur sable. Pour l'intervalle des contraintes  $\sigma = 1-2 \text{ kp/cm}^2$  le module était  $E_2 \approx 108 \text{ kp/cm}^2$ .



a sable non armé  
 1,2,3 bicouche gravier - sable  
 4,5,6 renforcement avec polypropilen

FIG. 4 COURBES  $\sigma - \delta$

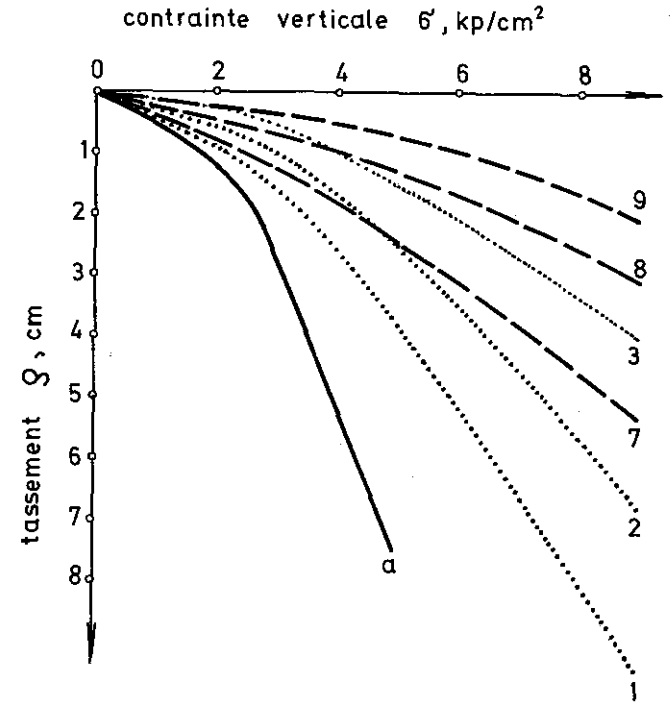
A partir de la solution théorique pour les déplacements d'une fondation circulaire, obtenue par la méthode des éléments finis, on a trouvé le module équivalent  $E_e$ :

$$E_e = \frac{0.90 p D}{\delta} \dots \dots (1)$$

ou  $p$  = pression uniformément répartie sous la fondation,  $D$  = diamètre de la fondation circulaire,  $\delta$  = tassement mesuré dans l'essai

de chargement. Les valeurs de module  $E_e$  sont:

$H_1 = 15 \text{ cm}$	$E_e = 135 \text{ kp/cm}^2$
$H_1 = 30 \text{ cm}$	$E_e = 231 \text{ kp/cm}^2$
$H_1 = 45 \text{ cm}$	$E_e = 405 \text{ kp/cm}^2$



a sable non armé  
 1,2,3 bicouche gravier - sable  
 7,8,9 renforcement avec armature en acier

FIG. 5 COURBES  $\sigma - \delta$

Yeshita et Meyerhof (1967) donnent l'expression suivante pour le module équivalent d'un système bicouche:

$$E_e = \frac{0.75 p D}{\delta} \dots \dots (2)$$

En utilisant la relation qui existe entre le rapport  $H/R$ ,  $E_e/E_2$  et  $E_1/E_2$ , on a trouvé:

$H_1 = 15 \text{ cm}$	$E_e = 112 \text{ kp/cm}^2$
$H_2 = 30 \text{ cm}$	$E_e = 193 \text{ kp/cm}^2$
$H_3 = 45 \text{ cm}$	$E_e = 338 \text{ kp/cm}^2$

A la base des solutions théoriques pour les déplacements dans un système bicouche (Mandel, 1957, Burmister, 1962, Thenn de Barros, 1966) et des résultats obtenus par des essais de chargement, le module  $E_2$  de la deuxième couche étant connu, on a déterminé les valeurs de module  $E_1$  de la première couche.

L'expression de Mandel:

$$S = \frac{pR}{E_2} M_{2H2} \dots \dots \dots (3)$$

de Burmister

$$S = \frac{pD}{E_2} I_s \dots \dots \dots (4)$$

et de Thenn de Barros

$$S = \frac{1,755 pR}{E_2} J_s \dots \dots \dots (5)$$

donnent des résultats très proches les uns aux autres. Les valeurs de module  $E_1$  sont:

$H_1 = 15 \text{ cm}$	$E_1 = 324 \text{ kp/cm}^2$
$H_1 = 30 \text{ cm}$	$E_1 = 970 \text{ kp/cm}^2$
$H_1 = 45 \text{ cm}$	$E_1 = 2160 \text{ kp/cm}^2$

Ces valeurs correspondent à l'intervalle des contraintes  $\bar{\sigma} = 1 \div 2 \text{ kp/cm}^2$ .

#### 4.2. Système bicouche gravier - sable (armé)

Les valeurs des modules équivalents  $E_e$  pour le système bicouche, armé avec l'armature en acier, dans l'intervalle des contraintes  $\bar{\sigma} = 1,5 \div 5,0 \text{ kp/cm}^2$ , sont:

1 x 4Ø12	$E_e = 121 \text{ kp/cm}^2$
2 x 4Ø12	$E_e = 220 \text{ kp/cm}^2$
3 x 4Ø12	$E_e = 413 \text{ kp/cm}^2$

Il est à noter qu'on a obtenu cet ordre de grandeur pour le système bicouche non armé,

mais pour les contraintes relativement faibles  $\bar{\sigma} = 1 \div 2 \text{ kp/cm}^2$ . A titre de comparaison la figure 6 montre les courbes des modules équivalents  $E_e$  pour le système bicouche non armé et puis pour ce système armé.

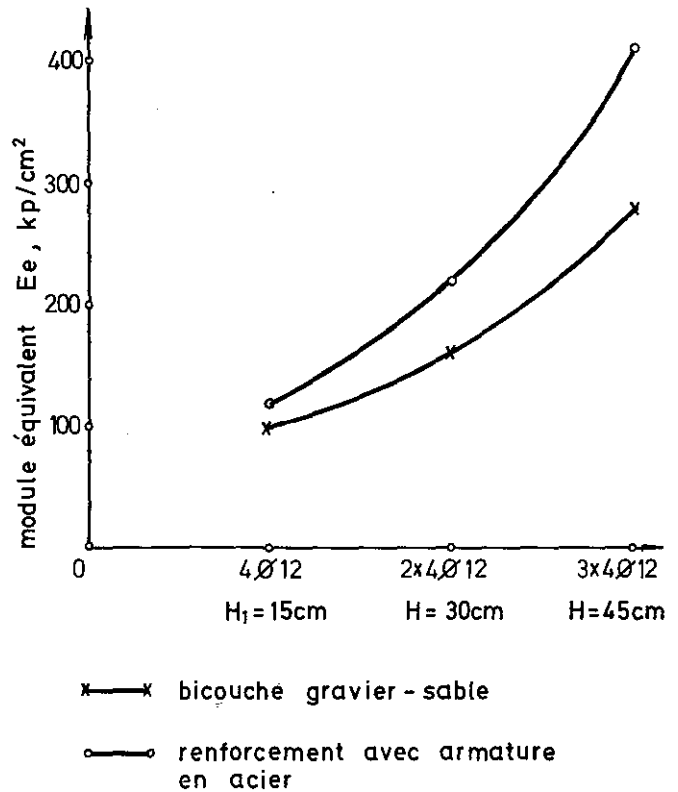


FIG. 6 VALEURS DES MODULES  $E_e$  OBTENUES PAR DES ESSAIS SUR PLACE ( $\bar{\sigma} = 1,5 \div 5,0$ )

#### 5. CONCLUSIONS

Les résultats des essais de chargement permettent dégager les conclusions suivantes:

- la charge de rupture du sol armé est considérablement plus élevée que du sol non armé
- le tassement du sol armé est relativement faible par rapport au tassement du sol non armé

- le module équivalent  $E_e$  du sol armé est considérablement plus grand que le module du sol non armé.

#### BIBLIOGRAPHIE

Binquet, J. and Lee, K.L. (1975), "Bearing Capacity Tests on Reinforced Earth Slabs", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 101, No GT 12, Proc. Paper 11792, pp. 1241-1255.

Burmister, D.M. (1962): "Application of layered system concepts and principles to interpretations and evaluations of asphalt pavement performances and to design and construction" Proc. 1 Int. Conf. on Structural Design of Pavements, pp. 441-453.

Giroud, J.P. (1972): "Tables pour le calcul des fondations". Tome 1, Dunod, Paris.

Harrison, W.J. and Gerrard, C.M. (1972), "Elastic Theory Applied to Reinforced Earth", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division", ASCE, Vol. 98, No SM 12, pp. 1325-1345.

Mandel, J. (1957): "Consolidation des couches d'argile". Comptes Rendus du 4<sup>e</sup> Congrès Intern. de Mécanique des Sols et de Fondation. Vol. 1, pp. 360-367, Londres.

Milović, D. (1970), "Fondations semi-suspendues sur les sols renforcés", Rapport technique N° R-18 - 08 - 401 - 8 - B, Université de Sherbrooke, Canada.

Milovic, D. (1977): "Bearing Capacity Tests on Reinforced Sand". Proc. of the 9<sup>th</sup> Int. Conf. on Soil Mechanics and Found. Eng. Vol. I, pp. 651-654, Tokyo.

Schlosser F. et Vidal H. (1969): "La terre armée. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et chaussées. N° 41, Paris.

Schlosser, F. and Long, N.T. (1972), "Comportement de la Terre Armée dans les Ouvrages de Soutènement", Proceedings, 5<sup>th</sup> European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. I, Madrid, Spain.

Schlosser, F., Nguyen Thahn Long et Sevestre F. (1973): "Ouvrages en terre armée sur sols de faible portance". Comptes rendus du VIII<sup>e</sup> Congrès Intern. de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondations. Vol. 2.2. pages 201-205, Moscou.

Thenn de Barros, S. (1966): "Deflection factor charts for two and three layer elastic system". High. Res. Record, N° 145, pp. 83-108.

Ueshita K. and Meyerhof G.G. (1967): "Deflection of multilayer soil systems". Proceedings ASCE, Vol. 93, SM 5, pp. 257-282.

Vidal, H. (1966), "La terre armée", Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, Paris, pp. 888-938.