

COMPORTEMENT DU SOL DE CHLEF RENFORCÉ PAR GÉOTEXTILES

BEHAVIOUR OF CHLEF REINFORCED BY GEOTEXTILES

Ahmed ARAB¹, Aek BRAHIM¹, Mostefa BELKHATIR¹, Isam SHAHROUR²

¹ Civil Engineering Department, Hassiba Ben Bouali University of Chlef, Algérie.

² LGCgE, Université de Lille 1, Villeneuve d'Ascq, France.

RÉSUMÉ – Cette communication présente les résultats d'une série d'essais triaxiaux sur la réponse drainée du sol de Chlef renforcé par géotextiles. Les essais ont été réalisés sur des échantillons de sol d'indice de densité initial (I_D) égal à 10%, sous des contraintes de confinement initiales égales à 50, 100 et 200 kPa. Les résultats des essais ont montré que la présence de nappes de géotextiles influence d'une manière considérable la résistance au cisaillement. En effet, la résistance du sol augmente avec l'augmentation du nombre de géotextiles et avec l'augmentation de la contrainte de confinement. La contractance du sol augmente avec l'augmentation du nombre de géotextiles et avec l'augmentation du confinement. L'angle de frottement interne mobilisé augmente d'une manière significative avec l'augmentation du nombre de géotextiles et diminue avec l'augmentation du confinement.

Mots-clés : Sol, géotextile, drainé, confinement, angle de frottement.

ABSTRACT – This paper reports the results of a series of drained triaxial tests on the Chlef soil reinforced with geotextile. The tests were carried out on samples reconstituted with an initial density index $I_D = 10\%$ and subjected to initial confining pressure of 50, 100 and 200 kPa. The test results indicated that the presence of geotextile layers affects significantly the shear strength of the soil. Indeed, the shear strength of the soil increases with the increase of geotextile and confining pressure. The soil contractancy increases with the increase of geotextile and confinement. The mobilized internal friction angle increases significantly with the increase of geotextile and decreases with the increase of the confinement.

Keywords: soil, geotextile, drained, confinement, friction angle.

1. Introduction

Les géosynthétiques sont largement utilisées en génie civil, spécialement dans la stabilisation des sols (stabilité des pentes, remblais, route, filtre et drain). Depuis 1970, beaucoup de travaux ont été consacrés à l'étude du comportement des sols renforcés en utilisant l'appareil triaxial, la boîte de cisaillement ou des appareils d'essai en déformation plane.

Une partie de ces recherches a porté sur des sables renforcés par géotextiles. Broms (1977) observe que le pic de contrainte à la rupture augmente avec la diminution de l'espacement des couches de géotextile. Cependant, il note que ce pic de contrainte n'est pas influencé lorsque les couches de géotextiles sont placées en bas de l'éprouvette. Mc Gown et al. (1978) exécutent une série d'essais dans une cellule à déformation plane sur du sable sec renforcé avec de l'aluminium et des couches de géotextiles non tissés. Ils concluent qu'il y a une grande différence entre le comportement du géotextile, dont la rigidité est relativement faible et celui de l'aluminium, dont la rigidité est bien plus importante. Les essais de compression sur du sable sec renforcé par différents types de géotextiles, réalisés par Gray et Al-Refeai (1986), montrent que les inclusions augmentent la résistance du sol et la déformation axiale à la rupture et que, dans plusieurs cas, on observe une réduction de la résistance après le pic de déviateur de contrainte. Athanasopoulos (1993) met en évidence, dans une étude à la boîte de cisaillement, l'influence de la taille du grain sur le comportement mécanique d'un sable renforcé par géotextiles : le comportement dilatant du sable renforcé est considérablement influencé par le rapport d'ouverture des pores du géotextile à la taille moyenne du grain de sable. Pour le sable fin (grandes valeurs de ce rapport), le renforcement augmente l'expansion par rapport à celle du sable vierge, mais le comportement inverse est constaté pour le gros sable (faibles valeurs de ce rapport). Krishnaswamy et Issac (1995) présentent les résultats d'essais triaxiaux cycliques sur des échantillons de sable de diamètre 38mm et de hauteur 100mm pour estimer le potentiel de liquéfaction du sable renforcé avec du géotextile. Ils montrent que cette technique de renforcement peut être une solution pour la diminution du potentiel de liquéfaction du sol testé. Pour étudier l'effet du renforcement par géotextiles sur la réponse contrainte déformation et le changement de volume d'un sol sableux sous un chargement monotone et cyclique, Ashmawy et Bourdeau (1998) réalisent une série d'essais triaxiaux sur des échantillons de

sable saturé renforcé avec des couches de géotextile tissé et non tissé. Leurs résultats montrent que le renforcement induit une augmentation significative de la résistance au cisaillement monotone et une diminution de la déformation cyclique de cisaillement.

Unniktishnan et al. (2002) étudient pour leur part le comportement d'une argile renforcée sous chargement monotone et cyclique. Les effets de l'épaisseur du renforcement, de sa densité et de son type ont été évalués. Les résultats obtenus indiquent que le renforcement améliore effectivement le comportement de l'argile sous chargement monotone et cyclique. Plusieurs autres études dans ce domaine ont été rapportées par Haeri et al. (2000), Houston et al. (2008), Ling et Tatsuoka (1993), Tang et al. (2007), Wang et al. (2007).

La présente étude rapporte des essais de laboratoire visant à évaluer l'effet du renforcement sur le sable de Chlef (Algérie), qui a subi une liquéfaction durant le séisme du 10 Octobre 1980, en utilisant un géotextile non tissé sous chargement statique. Les essais ont été exécutés sur des échantillons d'indice de densité initial $I_D=10\%$ et sous une contrainte effective initiale $\sigma'_c = 50, 100$ and 200 kPa. Le comportement mécanique et la réponse drainée en « contrainte – déformation » ont été évalués. Les résultats montrent une nette amélioration de la résistance au cisaillement monotone. L'augmentation du confinement et du nombre de couches de géotextiles amplifie le comportement volumique et par conséquent la contractance du sol.

2. Matériaux utilisés

Les essais ont été réalisés sur des échantillons de sables lâches provenant d'Oued Chlef (Algérie). Le sable est composé de particules de forme arrondie avec un diamètre moyen $D_{50}= 0,61\text{mm}$, $D_{10}= 0,225\text{mm}$ et un coefficient d'uniformité $D_{60}/D_{10}= 3,38$. La courbe granulométrique de ce sable est représentée sur la figure 1. Les essais ont été menés sur des échantillons renforcés par un géotextile propylène non tissé. Les caractéristiques de ce géotextile figurent dans le tableau 1. La résistance à la traction axiale est égale à 25 kN/m et la déformation axiale sous la traction maximale est égale à 80% . La taille de l'ouverture de filtration vaut $85 \mu\text{m}$, soit 13% de la taille moyenne du grain du sable de Chlef utilisé dans cette étude.

Les essais triaxiaux de compression drainée ont été réalisés sur des échantillons de sable de diamètre et de hauteur égaux à 70mm . Les essais ont été conduits sous des pressions de confinement ($\sigma'_c = 50, 100$ and 200 kPa) avec trois nappes de géotextiles ($N_g = 1, 2$ and 3) (Figure 2). Ces essais sont comparés avec ceux des échantillons de sables non renforcés ($N_g=0$). La procédure expérimentale inclut deux phases. La première concerne la préparation des échantillons de sable renforcé et la deuxième phase consiste à réaliser les essais triaxiaux de compression drainée en utilisant la cellule triaxiale de Bishop. Les échantillons ont été préparés avec des nappes de géotextiles placées dans le sable à des hauteurs spécifiées (figure 2). Les essais ont été menés avec une contre pression de 400 kPa à une vitesse axiale de $0,17\text{mm}$ par minute.

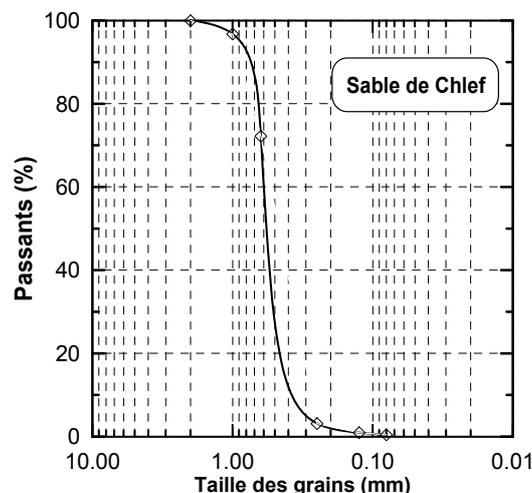


Figure 1. Courbe granulométrique du sable utilisé

Tableau 1. Propriétés physiques et mécaniques du matériau de renforcement utilisé.

Propriétés du géotextile	BidimS72
Processus de fabrication	Non tissé
Résistance à la traction T_{max} (kN/m)	25
Déformation à l'effort de traction ϵ_{max} (%) SP	80
Déformation à l'effort de traction ϵ_{max} (%) ST	70
Perforation dynamique (mm)	15
Perméabilité (m/s)	0,055
Ouverture de filtration (μm)	85
Masse surfacique (g/m^2)	305
Épaisseur sous 2 kPa (mm)	2,7

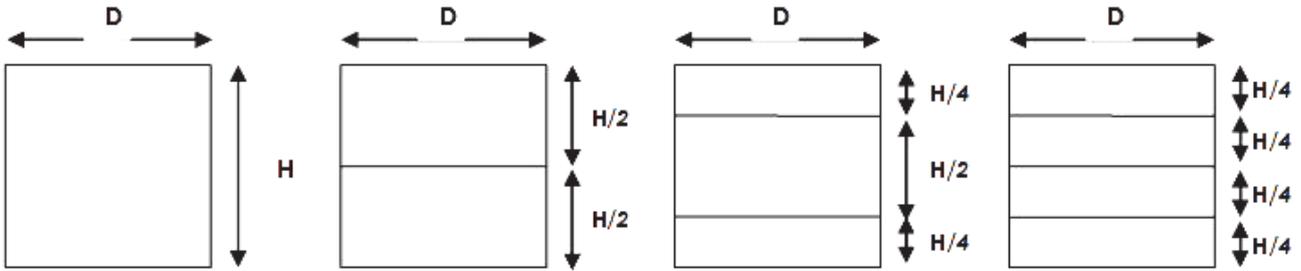


Figure 2. Disposition des nappes de géotextile dans l'éprouvette

3. Résultats des essais

La figure 3a montre l'évolution du déviateur de contrainte en fonction de la déformation axiale pour le sable de Chlef renforcé par géotextile. On en déduit que la résistance au cisaillement caractérisé par le déviateur de contrainte est très influencée par la présence de nappes de géotextile. La résistance augmente avec le nombre de nappes de géotextile. L'augmentation de ce nombre de nappes induit une augmentation de la phase de contractance (figure 3b). Les figures 4 et 5 illustrent l'évolution du déviateur de contrainte en fonction de la déformation axiale pour le sable cisillé sous une contrainte effective initiale $\sigma'_c = 100$ et 200 kPa. Les résultats de ces essais montrent une nette amélioration de la résistance avec l'augmentation du nombre de géotextiles (figures 4a et 5a). En ce qui concerne les déformations volumiques, on constate une augmentation du comportement volumique avec l'augmentation de la contrainte de confinement et avec l'augmentation du nombre de géotextile ; et par conséquent une augmentation de la phase de contractance, cette augmentation de la contractance est due à la bonne adhérence entre les grains de sable et le géotextile, qui empêche le développement des déformations radiales (figures 5a et 5b). Le géotextile réduit les déformations radiales du sol renforcé et par conséquent réduit la dilatation du sol.

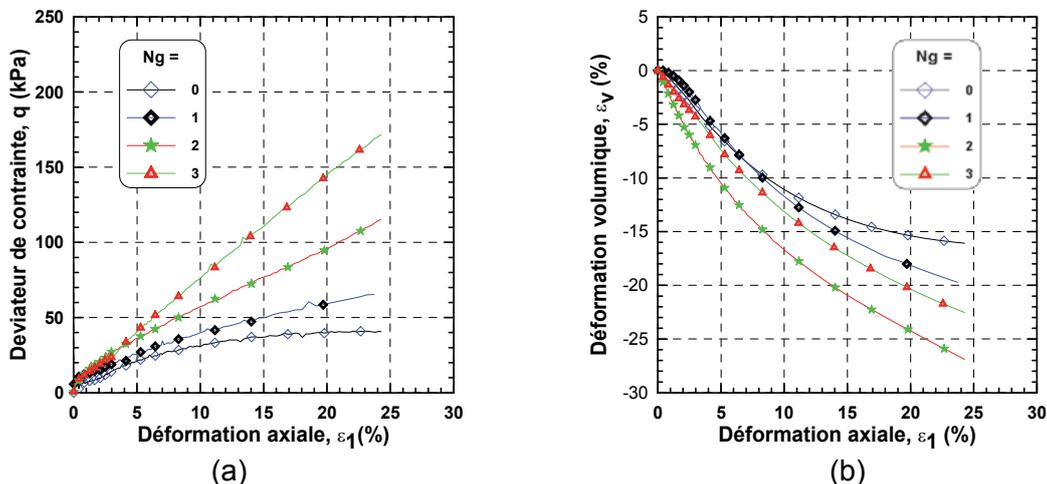


Figure 3. Essai de compression drainé sur sable de Chlef ($\sigma'_c = 50$ kPa)

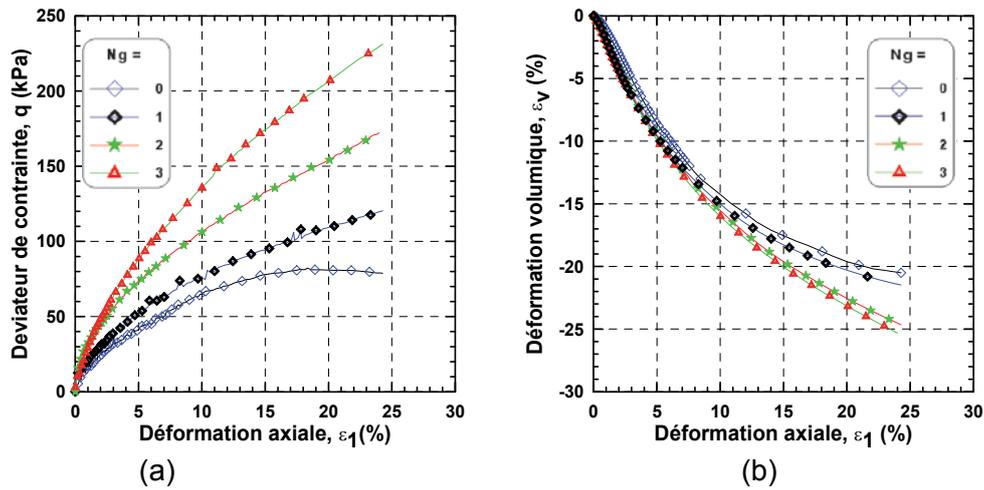


Figure 4. Essai de compression drainé sur sable de Chlef ($\sigma'_c = 100$ kPa)

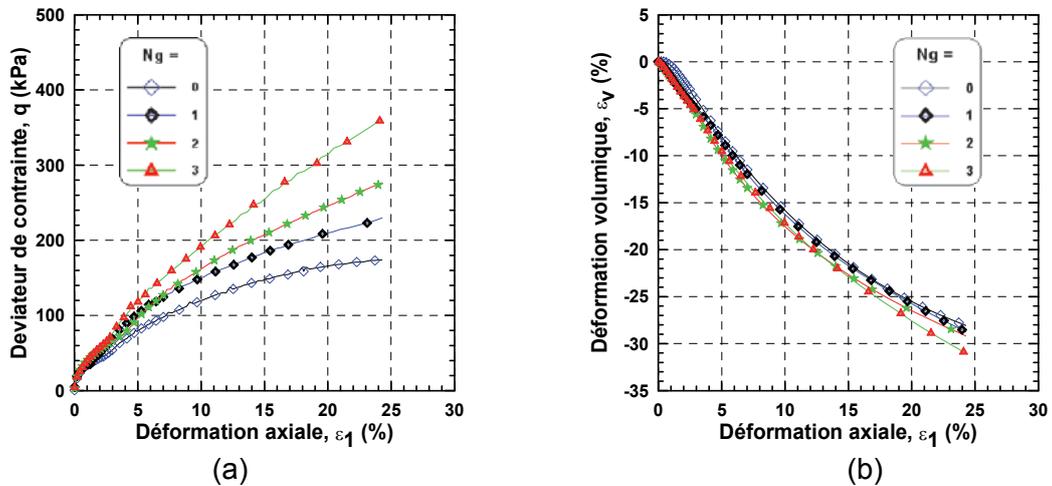


Figure 5. Essai de compression drainé sur sable de Chlef ($\sigma'_c = 200$ kPa)

Pour analyser la contribution du géotextile au comportement contrainte-déformation, on a représenté sur les figures 6, 7 et 8 l'augmentation du déviateur de contrainte apportée par la présence des géotextiles en fonction du nombre de couches de géotextile et les variations du rapport des déformations volumiques normalisées. On remarque que, pour l'échantillon renforcé par une seule nappe et cisailé sous une contrainte initiale $\sigma'_c = 50$ kPa, le géotextile commence à contribuer à l'amélioration du sable à partir de 7% de déformation axiale (figure 6a) ; pour les échantillons renforcés avec deux et trois nappes respectivement, le géotextile commence à contribuer à l'amélioration du sol dès le début du chargement (figure 6a). Les mêmes observations peuvent être faites pour les échantillons de sol cisailés avec des contraintes de cisaillement $\sigma'_c = 100$ kPa et $\sigma'_c = 200$ kPa, c'est-à-dire que le géotextile contribue à l'amélioration de la résistance du sol dès le début du chargement (figures 7a et 8a). Cependant les différents essais menés montrent que l'influence du géotextile sur la contraction du volume diminue avec l'augmentation de la contrainte effective (σ'_c) (figures 6a, 7a et 8a).

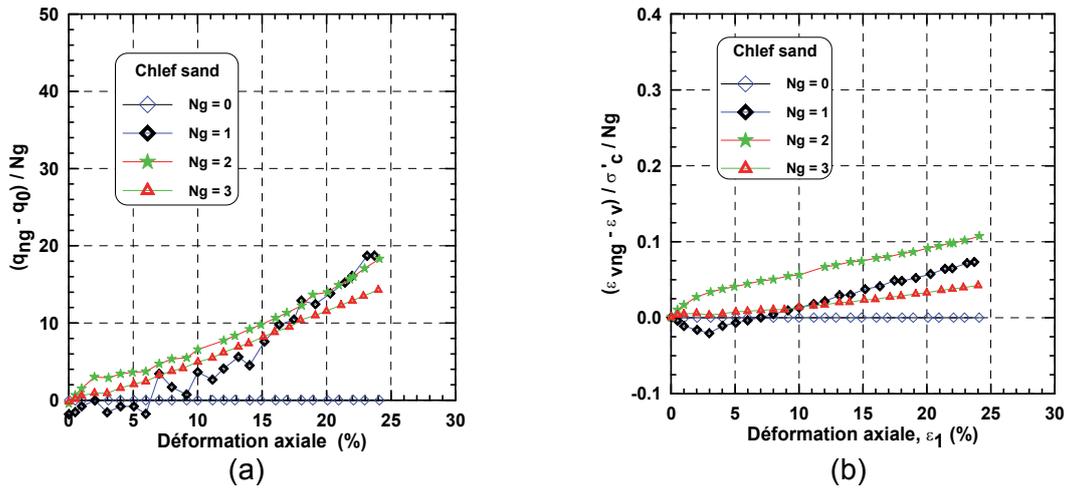


Figure 6. Essai de compression drainé ($\sigma'_c = 50$ kPa)
 (a) - Variation du rapport de l'excès du déviateur de contrainte (R_q)
 (b) - Variation du rapport de variation des déformations volumiques (R_v)

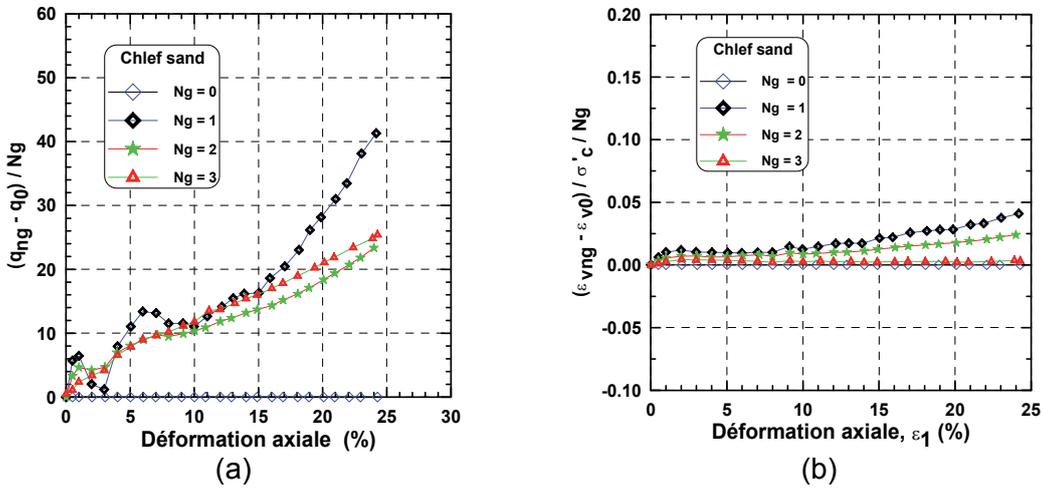


Figure 7. Essai de compression drainé ($\sigma'_c = 100$ kPa)
 (a) - Variation du rapport de l'excès du déviateur de contrainte (R_q)
 (b) - Variation du rapport de variation des déformations volumiques (R_v)

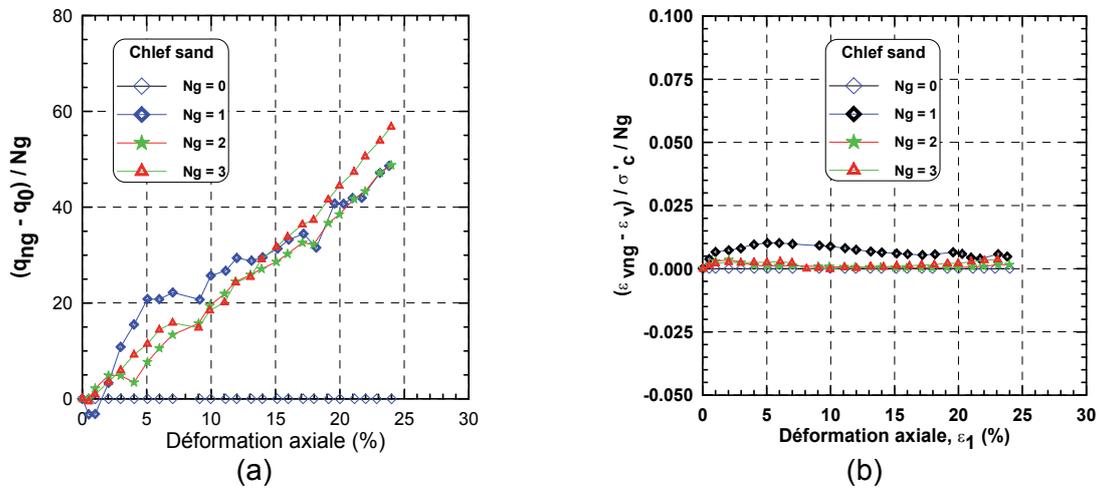


Figure 8. Essai de compression drainé ($\sigma'_c = 200$ kPa)
 (a) - Variation du rapport de l'excès du déviateur de contrainte (R_q)
 (b) - Variation du rapport de variation des déformations volumiques (R_v)

La figure 9 montre l'évolution du déviateur de contrainte en fonction du nombre de géotextiles pour les trois confinements. On constate que l'augmentation du déviateur de contrainte mobilisé croît d'une manière significative et selon une progression exponentielle avec l'augmentation du nombre de couches de géotextile, avec un coefficient de corrélation moyen pour tous les confinements $C_c=0,99$.

$$\log(Y) = B X + A \tag{1}$$

(X= Nombre de géotextiles, Y= Déviateur de contrainte)

La figure10 montre l'évolution des déformations volumiques à la fin du cisaillement en fonction du nombre de géotextiles. On note que, pour les grandes déformations axiales, le géotextile induit une augmentation quasi-linéaire du comportement contractant du sable renforcé ($C_c= 0,99$).

$$Y = B \cdot X + A \tag{2}$$

(X= Nombre de géotextiles, Y= Déformation volumique).

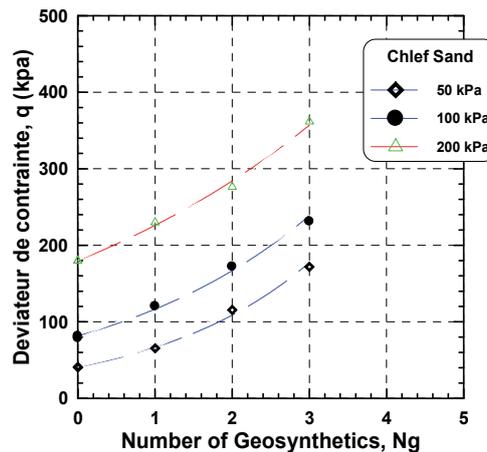


Figure 9. Variation du déviateur de contrainte mobilisé (q_{ss}) en fonction du nombre de géotextiles (N_g)

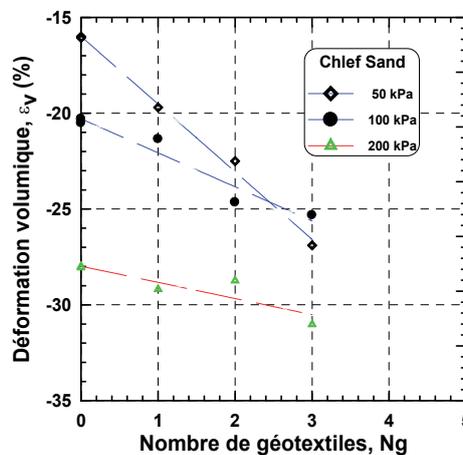


Figure 10 : Variation des déformations volumiques (ϵ_v) en fonction du nombre de géotextiles (N_g)

La figure 11 illustre l'évolution de l'angle de frottement mobilisé à la fin du cisaillement en fonction du nombre de géotextiles (N_g). On remarque que cet angle de frottement augmente selon une croissance quasi linéaire avec l'augmentation du nombre de géotextiles (N_g) et avec un coefficient de corrélation $C_c= 0,99$.

La figure 12 montre l'évolution de l'angle de frottement en fonction de la contrainte de confinement σ'_c ; on constate que l'angle de frottement (ϕ) diminue avec l'augmentation du confinement, selon une régression logarithmique avec un coefficient de corrélation moyen $C_c= 0,98$.

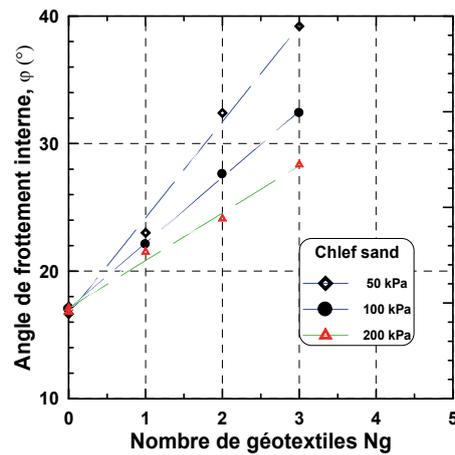


Figure 11. Variation de l'angle de frottement mobilisé (ϕ) en fonction du nombre de géotextiles (N_g)

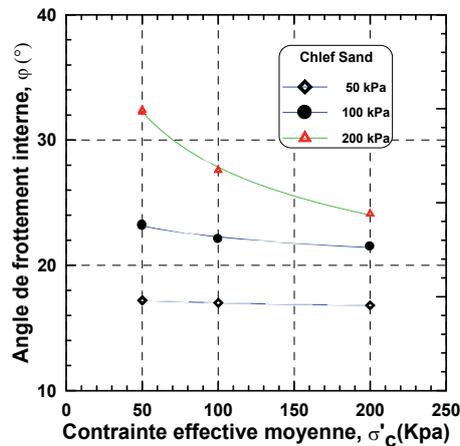


Figure 12. Variation de l'angle de frottement mobilisé (ϕ) en fonction du confinement (σ'_c)

4. Conclusions

Cette communication présente une étude à l'appareil triaxial de l'influence du géotextile sur le comportement en déformations (contrainte-déformation et comportement volumique) du sable lâche de Chlef renforcé par géotextiles.

Les résultats des essais montrent qu'à faible valeur de déformation axiale, la contribution du géotextile est négligeable, notamment pour les faibles taux de renforcement. Pour les grandes valeurs des déformations, le géotextile induit une augmentation quasi linéaire du déviateur de contrainte mobilisé. Il induit également une réduction de la déformation radiale, et par conséquent de la contractance du sable.

Les essais montrent également que l'augmentation du confinement amplifie le rôle du géotextile dans la mobilisation du déviateur de contraintes, mais réduit son influence sur le comportement volumique.

L'angle de frottement mobilisé à la fin du cisaillement augmente d'une manière sensible avec l'augmentation du nombre de géotextile, notamment pour les faibles niveaux de confinement.

5. Références bibliographiques

- Ashmawy A.K., Bourdeau P.L. (1998). Effect of geotextile reinforcement on the stress-strain and volumetric response of sand. Proceedings of the Sixth International Conference on Geosynthetics, Vol. 2, Atlanta, pp. 1079-1082.
- Athanasopoulos G.A. (1993). Effect of particle size on the mechanical behavior of sand-geotextile composites. Geotextiles and Geomembranes 12, pp. 255-273.

- Broms B.B. (1977). Triaxial tests with fabric-reinforced soil. Proceedings of International Conference on the Use of Fabric in Geotechnics, Vol. 3, École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, pp. 129-134.
- Gray D.H., Al-Refeai T. (1986). Behavior of fabric vs. fiber-reinforced sand. Journal of geotechnical Engineering ASCE 112 (8), pp. 804-820.
- Haeri S.M., Noorzad R., Oskourouchi A.M. (2000). Effect of geotextile reinforced on the mechanical behavior of sand. Geotextiles and Geomembranes 18, pp. 385-402.
- Houston L.S., Perez-Garcia N., Houston W.N. (2008). Shear strength and shear induced volume change behavior of unsaturated soils from a triaxial test program. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE 134 (11), pp. 1619-1632.
- Krishnaswamy N.R., Isaac N.T. (1994). Liquefaction potential of reinforced sand. Geotextiles and Geomembranes 13 (1), pp. 23-41.
- Ling H.I., Tatsuoka F. (1993). Laboratory evaluation of a nonwoven geotextile for reinforcing on site soil. Proceeding of Geosynthetics 93 (2), pp. 533-546.
- McGown A., Andrawes K.Z., Al-Hasani M.M. (1978). Effect of inclusion properties on the behavior of sand. *Géotechnique*, 28(3): pp. 327-347. [doi:10.1680/geot.1978.28.3.327]
- Tang C., Shi T., Gao W., Chen F., Cai Y. (2007). Strength and mechanical behavior of reinforced and cement stabilized clayey soil. Geotextiles and Geomembranes 25 (3), pp. 194-202.
- Unnikrishnan N., Rajagopal K., Krishnaswamy N.R. (2002). Behavior of reinforced clay under monotonic and cyclic loading. Geotxtiles and Geomembranes 20, pp. 117-133.
- Wang G-H., Sassa K., Fukuoka H., Tada T. (2007). Experimental study on the shearing behavior of saturated silty soils based on ring-shear tests. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 133 (3), pp. 310-333.