

# ÉTUDE EXPÉRIMENTALE ET MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU COMPORTEMENT DU SABLE RENFORCÉ PAR GÉOSYNTHÉTIQUES

## STUDY AND NUMERICAL MODELING OF GEOSYNTHETIC BEHAVIOR SAND

S. NOURI<sup>1</sup>, A. NECHNECH<sup>2</sup>, B. LAMRI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Département de Génie Civil, Université Hassiba Benbouali de Chlef  
<sup>2</sup>Faculté de Génie Civil, Université des Sciences et Technologie d'Alger

### RÉSUMÉ

Les déchets plastiques ont causé de graves problèmes pour l'environnement et le mouvement écologique de la région de Chlef. Pour une construction durable dans la région de Chlef, la réutilisation de ces déchets a été suggérée pour renforcer les constructions en terre. La présente étude consiste à utiliser des matériaux de polyéthylène sous forme de nappes horizontales, pour renforcer un sable, espacées de 35mm, 23mm, 17,5mm et 11,5mm, et d'étudier le comportement de la résistance au cisaillement du matériau composite sous un chargement triaxial monotone en condition drainée. Cet article présente une étude expérimentale et une modélisation numérique du comportement monotone du matériau composite sable - géosynthétiques.

Une approche théorique par éléments finis en utilisant le logiciel Plaxis a été entamée. Les différents résultats des essais triaxiaux sur un chemin de compression drainé de 100 kPa de confinement sont analysés et confrontés, ce qui permet de dégager une meilleure analyse des phénomènes observés.

**Mots clés :** comportement, renforcement, géosynthétiques, Plaxis, dilatance.

**Keywords:** behaviour, reinforcement, geosynthetics, Plaxis, dilatation.



## 1. INTRODUCTION

Le renforcement des sols par des nappes géosynthétiques dans le domaine du génie civil et géotechnique n'est pas un événement vraiment nouveau. Cette technique a été développée dans plusieurs constructions géotechniques. Généralement, ces produits ont une longue vie et ne subissent pas de déchéances biologiques. Le principe de ces techniques repose sur la mobilisation des efforts de traction induits dans le sol par les chargements extérieurs. La région de Chlef (Algérie) est exposée à de nombreux problèmes dans le domaine du génie civil et des travaux publics, tels que la construction des routes rurales et des remblais de chemin de fer, la stabilisation des pentes et des sols mous, etc.

Le renforcement des sols avec géosynthétiques améliore le comportement mécanique du matériau composite. Différents types de géosynthétiques peuvent être utilisés comme matériau de renforcement : géotextiles, géogrilles ainsi que les matières plastiques issues des films agricoles, sacs d'emballage, etc. Ils peuvent être aussi une bonne solution pour améliorer les propriétés mécaniques du sol.

L'utilisation des géosynthétiques dans le renforcement est la résolution d'une gamme très variée de problèmes géotechniques, due d'une part à leur facilité de mise en œuvre et d'autre part à leur faible coût comparativement à des solutions plus conventionnelles (Haeri et al. 2000 [2], Michalowski et Cermak 2003 [7], Latha et Murthy 2007 [5], Noorzad et Mirmoradi (2010) [8], Nguyen et al (2013) [7]. Des études théoriques et expérimentales ont été réalisées (Latha et Murthy 2007 [5]) pour observer l'effet d'échelle entre laboratoire et in situ. A partir des essais à l'appareil triaxial qui ont été réalisés pour un sable renforcé par 8 nappes de polymère fabriqué en polyéthylène de haute densité, les auteurs concluent que l'inclusion de ces dernières améliore la résistance à la rupture et présente une phase contractante plus importante que celle obtenue par l'échantillon non renforcé.

Latha et Murthy (2007) [4] ont effectué des essais triaxiaux pour évaluer la résistance de sable avec et sans renforcement. Les résultats sont analysés pour comprendre l'amélioration de la résistance dans le sable due au renforcement sous différentes formes (géotextile, géogrille, et film polyester). Parmi les trois formes de matériaux de renforcement, la forme cellulaire est trouvée plus efficace dans l'amélioration de la résistance du sable.

Khedkar et Mandal (2009) [3], à partir des essais à l'appareil triaxial et une modélisation par éléments finis sur un sable de quartz renforcé par des plaques en aluminium avec différentes hauteurs (variant de 3 à 50 mm), ont indiqué que l'inclusion des plaques provoque progressivement le pic de déviateur de contraintes avec l'augmentation de la hauteur des plaques de renforcement. Aussi, les paramètres de cisaillement augmentent avec la hauteur de la plaque de

renforcement égale à 10 mm comparativement à celle de 1 mm. Les résultats numériques du déviateur de contraintes – déformations ainsi que les déplacements horizontaux sont en parfaite concordance.

Noorzad et Mirmoradi (2010) [8] ont évalué le comportement de sol cohérent renforcé par un géotextile. Les résultats montrent que lorsque la teneur en humidité augmente, la résistance maximale à la fois des échantillons renforcés et non renforcés diminue et la déformation axiale à la rupture augmente. Toutefois, quand le nombre de nappes de géotextiles augmente, l'angle de frottement interne des échantillons renforcés augmente aussi.

Des essais triaxiaux en laboratoire ont été menés par Nguyen et al (2013) [7] pour étudier les réponses des contraintes-déformations volumétriques de sable renforcé par géotextile. Les résultats expérimentaux indiquent que le géotextile améliore le pic de la résistance au cisaillement et la déformation axiale à la rupture et réduit la perte post-pic de la résistance au cisaillement. Les échantillons renforcés ont une résistance au cisaillement plus élevée par rapport à celle du sol non renforcé après une déformation axiale de 1-3%. Ceci indique que le géotextile nécessite une déformation suffisante pour mobiliser sa force de traction afin d'améliorer la résistance au cisaillement du sol renforcé.

Messas (1999) [5] a proposé un nouveau procédé de renforcement géotechnique basé sur l'addition de déchets de matières plastiques (films agricoles, sacs d'emballage, etc.), dans les sols pour améliorer les caractéristiques mécaniques de ces derniers. Les études, aussi bien théoriques qu'expérimentales menées sur des essais en laboratoire et en vraie grandeur, montrent que la résistance augmente en fonction de la quantité de matières plastiques et que la rupture n'est atteinte que dans le domaine des grandes déformations.

Consoli et al. (2002) [1], Michalowski et Cermak (2003) [6] ont effectué des essais triaxiaux afin d'étudier l'effet des déchets plastiques sur les propriétés mécaniques du sable. Les auteurs ont conclu que la résistance au cisaillement du sol renforcé par des déchets plastiques est sensiblement améliorée par l'augmentation de la quantité des déchets plastiques incorporés. La contractance dans les échantillons renforcés a été observée pour les déformations faibles, avant que la dilatance ne se produise. Ainsi, la résistance isotrope du sol renforcé est fortement influencée par le matériau de renforcement.

Dans la présente étude, un ensemble d'essais triaxiaux a été effectué sur un sable naturel de la région de Chlef, avec une saturation satisfaisante avec ou sans renforcement, afin d'étudier le comportement de ce sol. Différents espacements entre les nappes plastiques dans les échantillons renforcés sont testés, pour permettre de montrer l'influence de ce matériau de renforcement sur la résistance au cisaillement



et les propriétés mécaniques du sable. Une modélisation par le logiciel Plaxis sur les différents échantillons testés expérimentalement est décrite. La conclusion commune de ces études a montré que l'ajout des inclusions dans l'échantillon de sable en forme de nappes faiblement espacées augmente nettement la résistance maximale de ce dernier et améliore ses caractéristiques mécaniques. De plus, la simulation numérique montre que les résultats obtenus concordent de manière satisfaisante avec les résultats d'essais réalisés en laboratoire sur modèles réduits : l'introduction des nappes de géosynthétiques diminuent considérablement la contrainte de cisaillement du sol et réduit ses déplacements.

## 2- ETUDE EXPÉRIMENTALE

### 2.1- Propriétés du sol et matériau de renforcement

Le matériau utilisé dans ce travail est un sable de Chlef (Algérie) qui est un sable uniforme composé de 70% de sable moyen et de 30% de sable fin avec un diamètre moyen des particules  $d_{50}=0,55$  mm et un coefficient d'uniformité  $C_u=2,15$  (fig. 1). Le poids volumique des particules solides est de  $\gamma_s=26,5$  kN/m<sup>3</sup>. Les indices des vides maximal et minimal obtenus sont  $e_{max} = 0,99$  et  $e_{min} = 0,64$ . Les compacités maximales et minimales sont 15,6 kN/m<sup>3</sup> et 12,9 kN/m<sup>3</sup> respectivement.

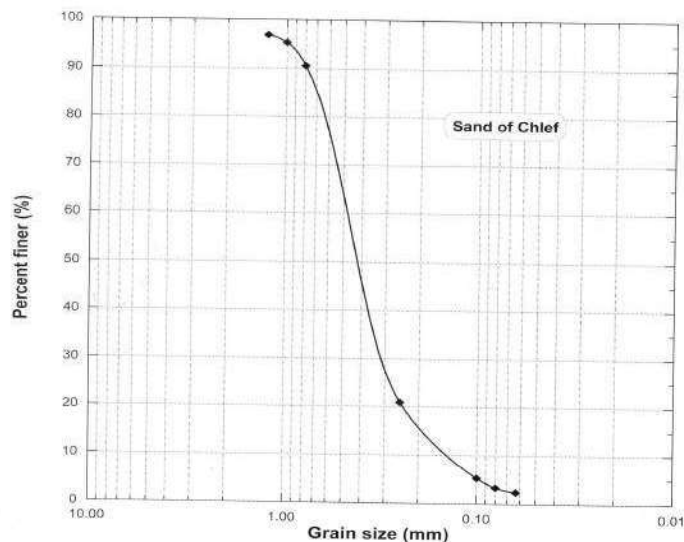


Figure 1 : Courbe granulométrique du sable étudié (provenance : Chlef).

Le matériau de renforcement utilisé est constitué de nappes plastiques (polyéthylène translucide) commercialement disponible, de faible densité et de couleur blanche, il est très utilisé dans l'agriculture. Les nappes sont des films en disque des serres agricole de 1.7 kN/m de force de traction et 340% d'allongement (fig. 2).



Figure 2 : Photo des nappes plastiques utilisées

### 2.2- Préparation de l'échantillon et programme d'essais

Le programme expérimental consiste à réaliser des essais triaxiaux monotones drainés d'un sable non renforcé et renforcé par des nappes plastiques disposées horizontalement avec un espacement entre elles de  $\Delta H$ . Quatre espacement  $\Delta H$  ont été choisis pour nos essais : 35mm, 23mm, 17,5mm et 11,5mm (fig 3).

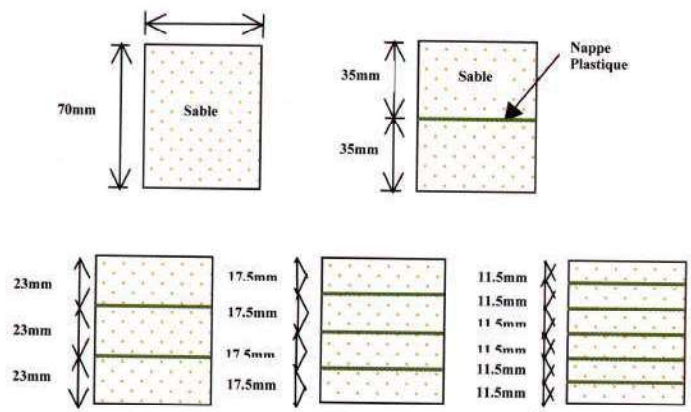


Figure 3 : Arrangement des nappes plastiques dans les échantillons renforcés

La densité relative du sable a été maintenue constante autour de 50 % (sable moyennement dense). Les échantillons sont soumis à un chargement triaxial monotone de contrainte de confinement initiale de 100 kPa. Le cisaillement s'effectue à déplacement axial contrôlé avec une vitesse rapide (0,17mm/min, 15%/heure). La déformation axiale finale pour l'ensemble des échantillons est de l'ordre de 20%. Tous les échantillons testés présentent un coefficient de Skempton B autour de 0.85.

### 2.3- Résultats et discussion

#### 2.3.1- Comportement drainé du sable renforcé

Les courbes typiques reliant les déformations axiales ( $\epsilon_a$ ) au déviateur de contraintes ( $\sigma_3 - \sigma_1$ ) et déformations volumiques sont représentées sur la figures 4a. Nous remarquons que l'espacement des nappes affecte d'une manière significative



le comportement du sable. Par ailleurs, nous observons que les contraintes déviatoires du sable renforcé croissent avec la diminution de l'espacement des nappes plastiques. Dans les courbes obtenues, le pic est pratiquement inexistant et ceci peut être justifié par la taille de l'échantillon qui est courte ( $H/\Phi=1$ ) ou par la vitesse rapide de cisaillement (de l'ordre de 15%/heure).

La variation des déformations volumétriques est influencée par la présence des nappes plastiques. Les courbes d'évolution des déformations volumétriques en fonction de la défor-

mation sont représentées sur la figure 4b. Cette variation traduit un comportement de contractance suivi d'une phase de dilatance. La comparaison de l'ensemble de ces courbes montre que, pour le sable non renforcé et renforcé par une (01) nappe, un phénomène de dilatance apparaît rapidement à partir de 5% de déformation, alors que pour des espacements de 23, 17,5 et 11,5mm, la dilatance ne commence qu'après 9%, 11% et 13% respectivement. Pour les quatre échantillons renforcés, on observe finalement une stabilisation progressive du volume vers les grandes déformations.

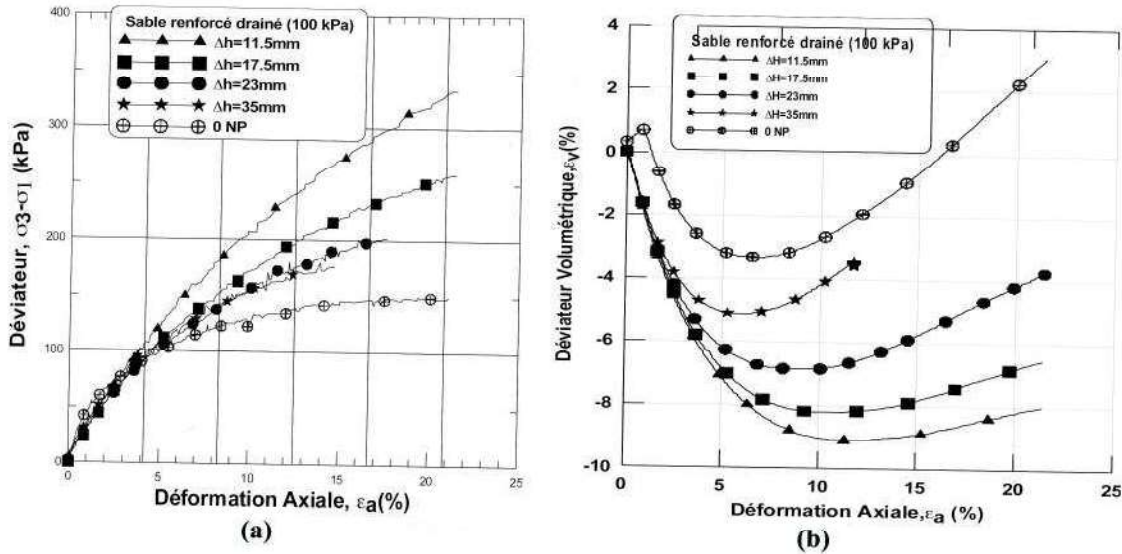


Figure 4 : (a) Déviateur de contrainte déformation axiale, b) Déformations Volumétriques – Déformation axiale ( $\sigma_3=100$ kPa).

La figure 5 présente l'évolution du déviateur maximal à 20% et du déviateur à 10% en fonction de l'espacement des nappes de renforcement. On constate que l'évolution du déviateur est quasi linéaire pour les deux cas, la pente du déviateur maximal à  $\epsilon_a=20\%$  est plus accentuée que celle du déviateur déterminé à  $\epsilon_a=10\%$ . L'augmentation de ces déviateurs est tout à fait significative allant jusqu'à un taux très élevé de 60% à 106% pour  $q_{max}$  et  $q_{10\%}$  respectivement, dans le cas d'un espacement minimal des nappes égal à 11,5mm.

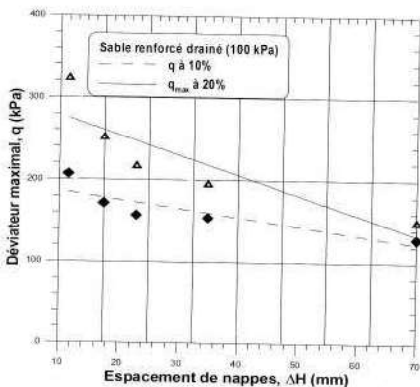


Figure 5. Evolution du déviateur maximal en fonction de l'espacement des nappes

### 2.3.2- Influence du renforcement sur les caractéristiques mécaniques du sable

La figure 6a montre l'évolution du module de déformation sécant ( $q/\epsilon_a$ ) avec la déformation axiale ( $\epsilon_a$ ). On observe que ce module croît significativement avec la diminution de l'espacement des nappes jusqu'à une déformation de 0,7%, ensuite le module tend à se stabiliser. La figure 6b montre l'influence du matériau de renforcement sur le module de déformation sécant mesuré à  $\epsilon_a=1\%$ . On constate que ce module croît fortement avec la diminution de l'espacement des nappes de façon non linéaire jusqu'à un espacement de 23mm ensuite il tend à se stabiliser.



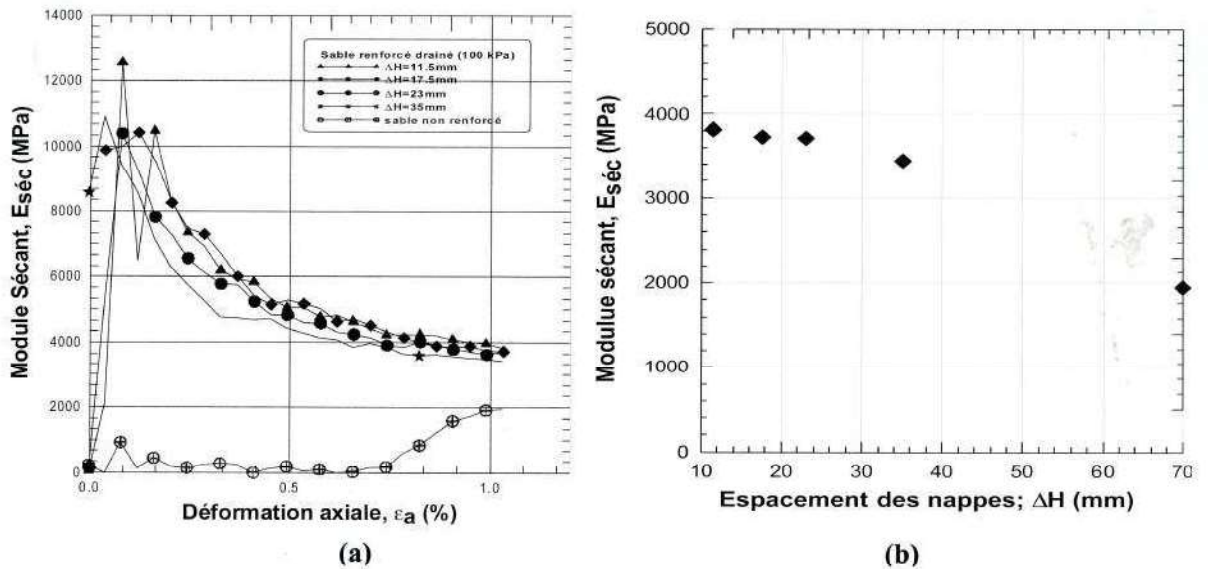


Figure 6 : Influence du matériau de renforcement  
(a) Variation du module sécant-déformation, (b) module sécant à εa=0.01

le comportement du sable. Par ailleurs, nous observons que les contraintes déviatoires du sable renforcé croissent avec la diminution de l'espacement des nappes plastiques. Dans les courbes obtenues, le pic est pratiquement inexistant et ceci peut être justifié par la taille de l'échantillon qui est courte (H/Φ=1) ou par la vitesse rapide de cisaillement (de l'ordre de 15%/heure).

La variation des déformations volumétriques est influencée par la présence des nappes plastiques. Les courbes d'évolution des déformations volumétriques en fonction de la déformation sont représentées sur la figure 4b. Cette variation traduit un comportement de contractance suivi d'une phase de dilatance. La comparaison de l'ensemble de ces courbes montre que, pour le sable non renforcé et renforcé par une (01) nappe, un phénomène de dilatance apparaît rapidement à partir de 5% de déformation, alors que pour des espacements de 23, 17,5 et 11,5mm, la dilatance ne commence qu'après 9%, 11% et 13% respectivement. Pour les quatre échantillons renforcés, on observe finalement une stabilisation progressive du volume vers les grandes déformations.

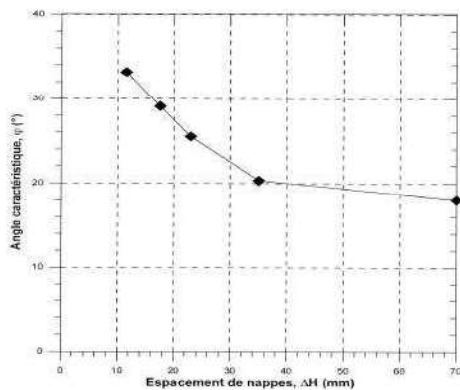


Figure 7 : Influence du matériau de renforcement sur l'angle caractéristique

### 3- EFFETS D'ÉCHELLE DANS L'EXPÉRIMENTATION

Les résultats obtenus à partir des essais expérimentaux sont limités à une échelle réduite et ne peuvent pas, dans les conditions actuelles, être appliqués aux ouvrages géotechniques. Toutefois, ces résultats représentent un guide important dans l'analyse comparative de l'effet de renforcement des sables par les géosynthétiques. Ils permettent aussi de répondre aux problèmes rencontrés lors de la réalisation d'ouvrages de renforcement. Pour déterminer l'écart entre les résultats du modèle réduit et ceux obtenus par les équations semi-empiriques développées pour des échantillons de plus grande taille, la charge axiale maximale sera prise en compte dans la vérification. Pour caractériser un renforcement par nappe circulaire de géosynthétique, la charge axiale maximale Pmax de l'essai triaxial a été développée par Chandrasekaran et al. (1989) [3] selon la relation suivante:

$$P_{max} = \pi \sigma_3 \frac{K_{av}}{K_a \tan(\alpha \phi_a)} \left[ \exp\left(\frac{\tan(\alpha \phi_a) R}{DK_{av}}\right) - 1 \right] \quad (6)$$

avec ;

$\sigma_3$  : pression de confinement ;

$K_{av}$  : coefficient de pression latérale des terres, cette valeur est prise comme la moyenne du coefficient de pression active des terres  $K_a$  et le coefficient  $K_b$  de la rotation des axes principaux de contrainte au point de la masse du sol entre les nappes de textiles.

$$K_b = \frac{1}{1 + 2 \tan^2 \varphi}$$

avec  $\varphi$  : angle de frottement interne du sol.

R est le rayon de l'échantillon, D est l'espacement entre les nappes de renforcement et  $\alpha$  est le coefficient qui dépend



frottement effectif mobilisé le long de l'interface sol-tex-tile. La valeur de  $\alpha$  est égal à 1 pour le film de polyester avec (R/D) supérieur ou égal à 1. La valeur de  $\alpha$  est très inférieure pour les géotextiles et les géogrilles à cause de la faible rigidité comparée au film de polyester qui peut être prise égale à 0.65.

Dans la présente étude, le sable non renforcé à une valeur  $\varphi_{\max}$  de 32.4° et l'angle de frottement d'interface maximal ( $\varphi_{\max}$ ) pour les échantillons renforcés par des nappes, es-

pacées de 35mm, 23mm, 17,5mm et 11,5mm, sont égaux à 30.2°, 30°, 34.1° et 38.5° respectivement. Le tableau 1 présente une comparaison entre les valeurs de la charge maximale observée lors des essais et ceux obtenues théoriquement. On note que l'écart entre ces valeurs n'est pas important quelque soit le type de renforcement testé. Par conséquent, il est très approprié d'utiliser qualitativement les résultats de ces expériences à petite échelle dans les ouvrages renforcés en vraie grandeur.

Sable renforcé	Espacement $\Delta H$ (mm)	$P_{\max}$ calculée (kN)	$P_{\max}$ expérim. (kN)
par 1 nappe	35	1.07	0.75
par 2 nappes	23	1.34	0.99
par 3 nappes	17.5	1.44	1.27
par 5 nappes	11.5	1.62	1.64

Tableau 1. Comparaison entre les valeurs expérimentales et calculées de la charge maximale

#### 4- MODÉLISATION DU COMPORTEMENT DU SABLE RENFORCÉ

Plaxis est un programme d'éléments finis en deux dimensions spécialement conçu pour réaliser des analyses de déformation et de stabilité pour différents types d'applications géotechniques. La modélisation par les éléments finis permet de résoudre le problème aux limites en tenant compte, par une loi de comportement réaliste, du comportement réel du sol.

Pour traiter un problème de sol dans un essai triaxial drainé, il est tout à fait indiqué de considérer le sol comme élastoplastique et le modèle de Mohr-Coulomb présente un comportement élastique parfaitement plastique sans écrouissage. Ce modèle bien connu est utilisé généralement comme une première approximation du comportement d'un sol. Le modèle demande la détermination de cinq paramètres qui sont : E et  $\gamma$  (paramètres d'élasticité) et c,  $\varphi$  et  $\psi$  (paramètres classiques de la géotechnique), fournis par des essais de laboratoires et nécessaires pour les calculs de déformation ou de stabilité.

Dans cet article, nous donnons un résumé des résultats les plus importants obtenus à partir d'une simulation numérique par éléments finis des essais triaxiaux pour un sable renforcé par des nappes de géosynthétiques. La charge appliquée est de 100 kPa pour le modèle. L'élément choisi est un élément triangulaire à 15 nœuds. Par conséquent, un maillage de 256 éléments a été adopté. Le renforcement est simulé à une nappe de géogrille de rigidité axiale EA de 1.7kN/m. Les principaux résultats sont les déplacements et les contraintes pour déplacement prescrit vers le bas de 20%. Quelques résultats typiques de déviateur de contraintes – déformations, de déplacements horizontaux et de contraintes de cisaillement sont présentés dans les figures 8, 9 et 10 respectivement, des échantillons de sol non

renforcé et renforcé par des nappes espacées de 1/6 à 1/2 de la hauteur du modèle.

Les résultats obtenus dans la figure 8 montrent que la simulation numérique en utilisant le code d'éléments finis Plaxis donne des résultats concordant de manière satisfaisante avec les résultats d'essais réalisés en laboratoire sur modèles réduits. L'introduction des nappes de géogrilles augmente considérablement le déviateur de contraintes du sable et réduit le déplacement horizontal de l'échantillon.

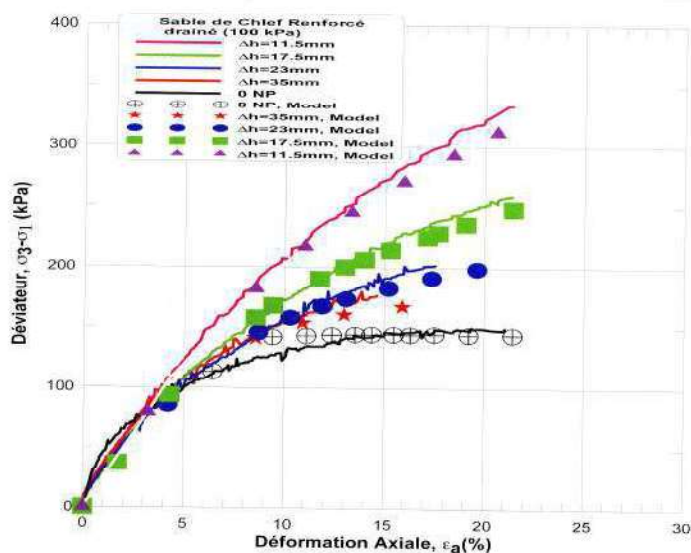


Figure 8 : Comparaison des résultats de simulation et expérimentaux du comportement du sable renforcé

Dans la figure 9, on remarque que le déplacement horizontal de l'échantillon est beaucoup plus grand dans le cas non renforcé par rapport aux échantillons renforcés par les nappes géosynthétiques. La déformation horizontale maximale de 3,47 mm est enregistrée pour le cas non renforcé et qui est observé diminuant avec la diminution de l'espacement des nappes plastiques. Dans les cas des échantillons



renforcés, on a des déplacements horizontaux au niveau de la zone proche des nappes de renforcement. Ceci s'explique par le fait que la résistance à la traction de la nappe mobilise le comportement du sol vis-à-vis des glissements. On note aussi que les déplacements des échantillons renforcés

diminuent inversement en fonction de l'espacement entre les nappes. Cette diminution est l'ordre de 14 % à 45% concernant les nappes à espacement faible. Ce qui peut être dû à l'effet de confinement de renforcement apporté par les géosynthétiques.

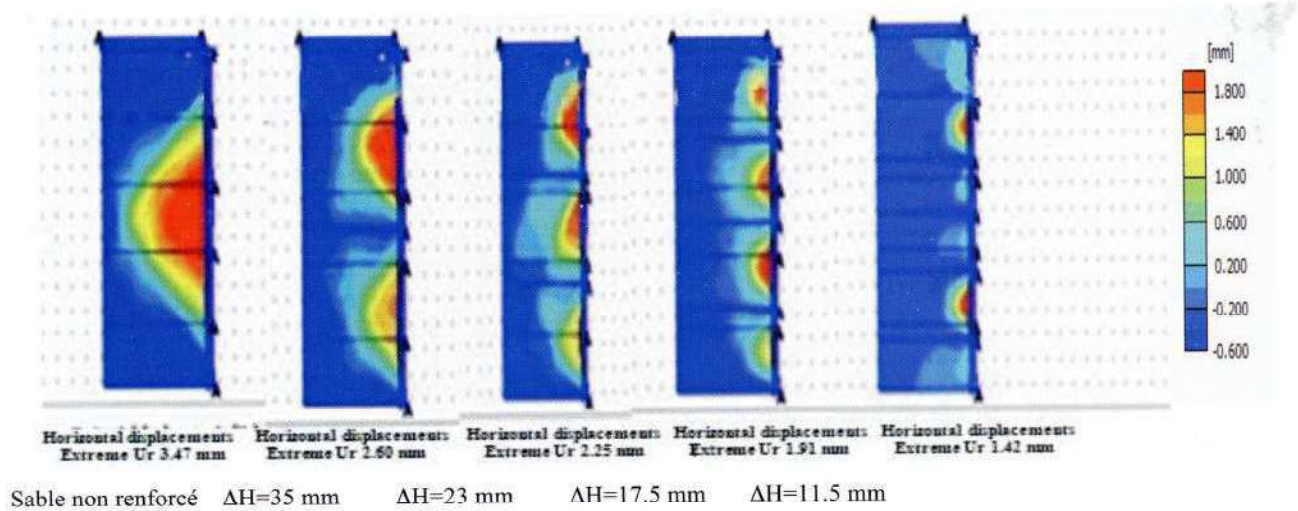


Figure 9 : Observation des déplacements horizontaux

La figure 10 illustre les contraintes relatives de cisaillement pour différents échantillons de sable non renforcé et renforcé par des nappes géo-synthétiques. D'après les résultats trouvés par simulation numérique en utilisant le logiciel Plaxis, on remarque que l'inclusion des nappes géo-synthétiques dans le sol diminue la contrainte de cisaillement. En particulier, pour les espacements de 17.5 et 11.5 mm où

la contrainte de cisaillement est presque localisée en dehors de la zone des nappes de renforcement. On peut interpréter ceci par la réduction de la résistance au cisaillement due au sol renforcé par des nappes synthétiques et par l'influence de la rigidité de la nappe dans le sol. Cette rigidité donne une résistance de traction à la nappe qui reprend les efforts normaux en travaillant comme une membrane.

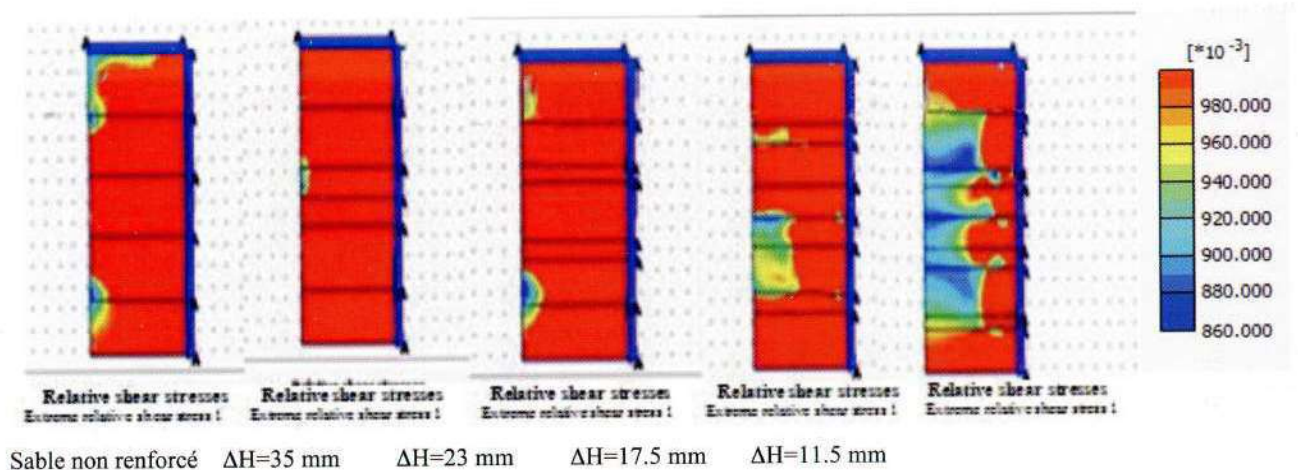


Figure 10 : Observations des contraintes de cisaillement

## 5- CONCLUSIONS

Cet article est une présentation des résultats d'une étude en laboratoire portant sur l'influence des nappes plastiques sur le comportement d'un sable naturel. L'étude a comporté des essais triaxiaux drainés monotones qui ont été réalisés à une densité relative du sable  $I_d = 50\%$  renforcé par des nappes espacées de 35mm, 23mm, 17,5mm et 11,5mm.

Les essais montrent que les contraintes déviatoires monotones augmentent lorsque les nappes plastiques deviennent faiblement espacées mais affectent l'amplification de la phase de contractance et réduisent la dilatance de l'échantillon (Latha et Murthy 2007 [4]).

La présence des nappes plastiques, avec un faible espacement entre eux, augmente très fortement l'angle caracté-



tique (il croît de  $19^\circ$  à  $33^\circ$  quand l'espacement des nappes décroît de 35 à 11.5mm), tandis qu'elle n'affecte pas son angle de frottement et de dilatance.

Le module de déformation sécant augmente d'une manière significative avec la diminution de l'espacement. Ceci se traduit par un effet important sur la rigidité de l'échantillon renforcé.

Du point de vue effet d'échelle, l'écart entre les valeurs obtenues expérimentalement et celles calculées par des formules empiriques n'est pas important quelque soit l'espacement entre les nappes de renforcement testées (de l'ordre de 12 et 26%). Par conséquent, il est très indiqué d'utiliser qualitativement les résultats de ces expériences à petite échelle dans les ouvrages renforcés.

Les résultats obtenus sur les courbes des déviateurs de contraintes – déformations, montrent que la simulation numérique par le logiciel Plaxis donne des résultats concordant de manière satisfaisante avec les résultats d'essais réalisés en laboratoire sur modèles réduits. L'introduction des nappes de géosynthétiques dans le sable augmente considérablement la résistance maximale du sol et réduit les déplacements horizontaux des échantillons renforcés.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Consoli N. C., Montardo J. P., Prietto P.D.M., Passa G. S., Engineering behaviour of sand reinforced with plastic waste. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 128, n° 6, 2002, pp.462-472.
- [2] Haeri S. M., Noorzad R., Oskoorouchi A. M., Effect of géotextile reinforcement on the mechanical behaviour of sand. *Géotextiles and Géomembranes*, n° 18, 2000, pp. 385-402.
- [3] Khedkar M. S., Mandal J. N., Behaviour of Cellular Reinforced Sand Under Triaxial Loading Conditions. *Geotechnical Geological Engineering*, n° 27, 2009, pp. 645–658
- [4] Latha M.G.and Murthy V.S., Effects of Reinforcement Form on the Behaviour of Geosynthetic Reinforced Sand. *Geotextiles and Geomembranes* 25, 2007, pp. 23-32.
- [5] Messas T., Caractérisation et renforcement des sols avec inclusion de nappes plastiques souples discontinues. *Revue Française de Géotechnique*, n° 87, 1999, pp. 55-62.
- [6] Michalowski R. L., and Cermak J., Triaxial Compression of Sand Reinforced with fibers. *Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 129 (2), 2003, pp. 125-136.
- [7] Nguyen M.D., Yang K.H., Lee S.H., Wu C.S., and Tsai M.H., Behavior of nonwoven-geotextile- reinforced sand and mobilization of reinforcement strain under triaxial compression. *Geosynthetics International*, 20, 2013, pp. 207-225.
- [8] Noorzad R. and Mirmoradi S. H., Laboratory evaluation of the behavior of a geotextile reinforced clay. *Geotextiles and Geomembranes*, 28, 2010, pp. 386–392.