Effet des fines peu plastiques sur le comportement d'un sable limoneux

Etude d'un mélange sable-limon peu plastique

A. Arab* — S. Hamoudi** — I. Shahrour*** — L. Lancelot***

* Laboratoire de Génie Civil **Département d'Hydraulique Université de Chlef Algérie

*** Laboratoire de Mécanique de Lille Equipe Sols-Structures Avenue Paul Langevin 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex France

 $\label{eq:analytic} Ah_arab@yahoo.fr, is am.shahrour@polytech-lille.fr, laurent.lancelot@polytech-lille.fr, laurent.lancelot@polytech-li$

RESUME. Cet article concerne une étude de l'influence de fines peu plastiques sur la résistance à la liquéfaction des sables limoneux (mélanges de sable de Rass et de limons de Sidi-M'hamed et Sidi Amer). L'étude a été effectuée à l'appareil triaxial sur des chemins de compression drainés et non drainés pour un confinement de 100 kPa avec des teneurs en fines variant de 0 à 25%. Les essais drainés mettent en évidence l'effet des fines sur les caractéristiques mécaniques : l'angle de frottement, l'angle de dilatance et le module de déformation diminuent avec l'augmentation de la teneur en fines, alors que l'angle caractéristique n'est pas affecté de manière significative. Les essais non drainés montrent que la résistance à la liquéfaction diminue avec l'augmentation de la teneur en fines.

ABSTRACT. Drained compression tests on silty sands show that the friction angle, the dilatancy angle and the deformation modulus decrease when the fraction of fine increase between 0 and 25%, while the characteristic angle is unchanged. Undrained tests show that the resistance to liquefaction decreases when the fraction of fines increases.

MOTS-CLÉS : Mélanges sable-limon, fines, comportement, liquefaction.

KEYWORDS: Silty sands, effect of fines, mechanical behaviour, liquefaction.

Revue. Volume X – n° x/année, pages 1 à X

$2 \quad \ \ \text{Revue. Volume } X - n^\circ \text{ x/année}$

1. Introduction

La structure des sols grenus met en œuvre des forces intergranulaires relativement petites. En revanche, les forces intergranulaires des fines plastiques sont relativement grandes (Mitchell, 1993). Les sables limoneux peuvent être considérés comme une matrice se composant de deux submatrices : l'une à gros grains, constituée de particules de sable, et l'autre à grains fins, constituée de fines (Thevanayagan, 1998).

.Des études théoriques et expérimentales ont été réalisées (McGeary, 1961 ; Lade *et al.*, 1998) pour observer l'effet des fines non plastiques sur l'indice des vides minimal des sables. Un autre type de structure de sol observé dans un sable limoneux est la structure métastable. A faible teneur en fines, la présence de particules limoneuses peut créer une grande instabilité et compressibilité de la structure (Lade et Yamamuro, 1997). Dans une structure métastable, les vides entre les grosses particules sont inoccupés, les fines occupant juste les points de contact entre les grains. Durant le chargement, les particules limoneuses sont chassées dans les vides, ce qui cause l'effondrement de la structure du sol.

Des études dans plusieurs laboratoires ont montré que l'augmentation de la teneur en fines dans un sable augmente la résistance à la liquéfaction (e. g. Chang et al. 1982 ; Amini et Qi 2000), tandis que d'autres résultats montrent qu'elle diminue la résistance à la liquéfaction des sables (Tronsoco et Verdugo, 1985 ; Vaid, 1994 ; Lade et Yamamuro 1997; Zlatovic et Ishihara, 1997). D'autres ont trouvé que la résistance à la liquéfaction diminue initialement jusqu'à une certaine teneur en fines puis qu'elle réaugmente avec l'augmentation de cette teneur (Koester, 1994; Bouferra et Shahrour, 2003). A partir d'essais de compression monotone réalisés par Lade et Yamamuro (1997) à l'appareil triaxial sur un mélange sable-limon ATC de densité moyenne, Yamamuro et Convert (2001) concluent que la présence d'une petite quantité de fines semble conduire à un comportement contractant seulement durant le cisaillement initial. Par la suite le caractère dilatant du squelette formé par les particules de sable est mobilisé et la résistance augmente. Ceci est conforme aux résultats de Polito et Martin (2001), pour qui les sols avec une matrice de limon prédominante ont une résistance à la liquéfaction plus faible que celle des sols avec une matrice de sable prédominante pour la même densité relative.

2. Dispositif et programme expérimental

Les essais ont été réalisés sur du sable de Rass (Algérie), qui est un sable moyen $(D_{50} = 0.39 \text{ mm}, \rho_s = 2.664 \text{ g/cm}^3)$ mélangé avec deux limons d'indices de plasticité différents.

La figure I montre les courbes granulométriques des sols étudiés. Le programme expérimental comporte des essais de compression monotone drainée et non drainée avec différentes fractions de fines (rapport de la masse des fines sur la masse de l'échantillon Fc = 0%, 5%, 10%, 15%, 20% et 25%) pour une contrainte effective de 100 kPa. Tous les essais ont été réalisés sur des échantillons de densité moyenne ($I_D = 0,65$). Les indices de plasticité ont été mesurés : $I_p = 5,87$ % pour le limon de Sidi-Amer et I_p = 2,33% pour celui de Sidi-M'hamed, ce qui les classe comme des sols très peu plastiques.

Les essais ont été réalisés en utilisant un appareil triaxial de marque GDS (Minidyn 2Hz) avec des échantillons de diamètre et de hauteur égaux à 70 mm, et un indice des vides initial $e_0=0,587$ ($I_D=0,65$).Le confinement de la cellule et la contre pression dans l'échantillon sont assurés par des contrôleurs GDS. Pour améliorer la saturation, l'échantillon est balayé par du gaz carbonique pendant 20 minutes. Il est ensuite saturé d'eau désaérée et déminéralisée. Les échantillons sont préparés en sept couches de densité croissante, pour obtenir après compactage une valeur moyenne $I_D = 0,65$.



Figure I. Courbes granulométriques des sols étudiés

3. Résultats des essais

3.1. Essais drainés

Les figures II et III illustrent les résultats des essais drainés réalisés pour différentes valeurs de la fraction de fines (entre 0 et 25%). On remarque que la

4 Revue. Volume $X - n^{\circ} x/année$

fraction de fines affecte d'une manière significative le comportement du mélange sable-limon. Si on n'observe pas de tendance nette pour la résistance, les déformations volumiques sont par contre influencées par la présence des fines. Tous les essais réalisés ont montré une phase de contractance suivi d'une phase de dilatance. Les essais sur sable propre et l'échantillon à 5 % de fines ne montrent de dilatance qu'à partir de 2 % de déformation axiale, alors que pour une teneur en fines de 10 %, la dilatance apparaît à partir de 3 % de déformation axiale.



Figure II. Influence de la teneur en fines sur la réponse drainée du mélange sable –limon (Rass-Sidi-Amer): (a) déviateur en fonction de la déformation axiale, (b) déformation volumique en fonction de la déformation axiale.



Figure III. Idem figure II pour le mélange Rass-Sidi-M'hamed

Pour les échantillons avec une teneur en fines de 15, 20 et 25 % la dilatance apparaît à partir de 5 % de déformation axiale. On note aussi que les déformations volumiques se stabilisent à partir de 20 % de fines pour le mélange Rass-Sidi/Amer. Les mêmes observations ont été faites pour le mélange Rass-S/M'hamed, mais pour l'essai à 25 % de fines la dilatance apparaît à partir de 13 % de déformation axiale.

La figure IV montre l'évolution du module de déformation sécant (q/ϵ_1) avec la déformation axiale. On observe que ce module décroît avec l'augmentation de la teneur en fines. Cette décroissance est très significative pour les faibles déformations.



Figure IV. Evolution du module de déformation en fonction de la déformation axiale : (a) Rass avec limon de Sidi-Amer, (b) Rass avec limon de Sidi-M'hamed.



Figure V. Variation de l'angle caractéristique en fonction de la teneur en fines.

$6 \quad \ \ \text{Revue. Volume } X-n^\circ \text{ x/année}$

La figure V montre la variation de l'angle caractéristique (correspondant au changement de phase contractance/dilatance) en fonction de la teneur en fines. On remarque que ni la teneur en fines ni l'indice de plasticité n'affectent d'une manière significative l'angle caractéristique.

La figure VI montre l'évolution de l'angle de dilatance en fonction de la déformation axiale. On note que l'angle de dilatance diminue avec l'augmentation de la teneur en fines. Cette diminution est très prononcée pour le mélange sable-limon (S-M'hamed).



Figure VI. Angle de dilatance maximal en fonction de la teneur en fines.

3.2. Essais non drainés

Une série d'essais non drainés a été réalisée sur les mélanges de sable-limon pour un confinement unique de 100 kPa (figure VII). On observe une diminution de la résistance à la liquéfaction avec l'augmentation de la teneur en fines jusqu'à 25% de fines . On n'a pas observé le phénomène d'inversion du comportement décrit par Ishihara et Zlatovic (1997) et Bouferra et Shahrour (2004) selon qui la résistance diminue jusqu'à un certain seuil de teneur en fines puis elle réaugmente. Les résultats obtenus montrent que la présence des fines élargit la phase de contractance, ce qui a pour effet de réduire la résistance du mélange à la compression non drainée. Ce phénomène a également été observé par Shen *et al.* (1997) et Troncoso et Verdugo (1985).

La figure VIII présente la variation de l'angle caractéristique (changement de phase contractance-dilatance) avec la teneur en fines. On note que l'angle caractéristique varie très peu avec la fraction des fines. Ces résultats confirment les résultats obtenus lors des essais drainés.



Figure VII. Influence de la teneur en fines sur le comportement non drainé des mélanges sable-limon (Sidi Amer à gauche et Sidi M'Hamed à droite).



Figure VIII. Evolution de l'angle caractéristique en fonction de la teneur en fines (essais non drainés).

8 Revue. Volume X – n° x/année

7. Conclusions

Cet article comporte une étude en laboratoire de l'influence de la présence de fines très peu plastiques sur le comportement de deux mélanges sable-limon. L'étude a été réalisée pour des fractions des fines comprises entre 0 et 25 %. Les essais montrent que l'augmentation de la fraction de fines réduit la résistance du mélange sable-limon, qu'elle accroît la phase de contractance de ce mélange (de façon plus prononcée pour le mélange avec le limon de Sidi-M'hamed), mais qu'elle n'affecte pas son angle caractéristique. L'amplification de la phase de contractance se traduit par une réduction de la résistance à la liquéfaction. La variation de l'indice de plasticité n'a pas d'influence notable sur l'angle caractéristique. La présence des fines réduit la dilatance, très fortement pour le mélange sable-limon de Sidi-M'hamed.

8. Bibliographie

- Amini F., Qi G.Z. « Liquefaction testing of stratified silty sands », *Journal of Geotechnical* and Geoenvironmental Engineering, Vol., 126, n° 3, 2000, p.208-217.
- Bouferra R., Shahrour I., « Influence of fines on the resistance to liquefaction of a clayey sand », *Ground Improvement*, Vol 8, N° 1, 2003, p. 1-5.
- Chang N.Y., Yey S.T., Karfman L.P., « Liquefaction potential of clean and silty sands », *Proceedings 3rd International Earthquake Microzonation Conference*, Seattle, 1982, Vol .2, p. 1017-1032.
- Koester J.P., « The influence of fine type and content on cyclic strength » *Ground failures* under seismic conditions, Geotechnical Special Publication N° 44, ASCE, 1994, p. 17-33.
- Lade P.V., Yamamuro J.A., « Effects of non plastic fines on static liquefaction of sands », *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 34, 1997, p. 905-917.
- Lade P.V., Liggio C.D., and Yamamuro J.A., « Effects of non plastic fines on minimum and maximum void ratios of sands », *Geotechnical Testing*, 1998, Vol. 21, n° 4.
- Mitchel J.K., « Fundamentals of soil behaviour », 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York, 1993, 450 p.
- Polito C.P., Martin II.J.R., « Effects of non plastic fines on the liquefaction resistance of sands », *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 107, n° 5, 2001, p.553-562.
- Shen C.K., Vrymoed J.L., and Uyeno C.K., « The effects of fines on liquefaction of sands », Proceedings 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Eng., Tokyo, Japan, 1977, Vol. 2, p. 381-385.
- Thevanayagam S., «Effect of fines and confining stress on undrained shear strength of silty sands », *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng.*, Vol. 124, n° 6, 1998, p.479-491.

- Troncosco J.H., Verdugo R., « Silt content and dynamic behavior of tailing sands », *Proceedings 12th International Conference Soil Mechanics and Foundation Eng.*, San Francisco, 1985, p. 1311-1314.
- Vaid V.P., «Liquefaction of silty soils» Ground failures under seismic conditions, Geotechnical Special Publication N° 44, ASCE, 1994, p. 1-16.
- Yamamuro J.A., Covert K.M., « Monotonic and cyclic liquefaction of very loose sands with high silt content », *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng.*, Vol. 127, n° 4, 2001, 314-324.
- Zlatovic S., Ishihara K., «Normalized behavior of very loose non-plastic soils: effects of fabric », *Soils and Foundations*, Vol. 37, N° 4, 1997, p. 47-56.