

# Comportement monotone et cyclique d'un sable limoneux

Ahmed Arab

*Laboratoire des sciences des matériaux et environnement, faculté des sciences et sciences de l'ingénieur, département de génie civil, université de Chlef, route de Soudjias, BP 151, Chlef 02000, Algérie*

Reçu le 9 juin 2009 ; accepté après révision le 22 juillet 2009

Présenté par Jean-Baptiste Leblond

## Résumé

Cette Note présente une étude en laboratoire de l'influence des fines peu plastiques sur le comportement d'un sable limoneux. L'étude est basée sur des essais triaxiaux drainés et non drainés monotones qui ont été réalisés pour des fractions de fines variant entre 0 et 50% ; et des essais cycliques réalisés pour des fractions des fines variant entre 0 et 40%. Les essais ont été effectués sur des échantillons ayant une densité relative  $I_d = 0, 15, 0,5$  et  $0,65$ . La Note est composée de trois parties. La première présente les sols étudiés ; la seconde donne une analyse des résultats des essais monotones drainés et non drainés réalisés et discute de l'influence des fines sur les caractéristiques mécaniques du mélange sable–limon. Les essais montrent que l'augmentation de la teneur en fines réduit la dilatance du sol et amplifie la phase de contractance. Elle a une faible influence sur l'angle caractéristique, mais réduit l'angle de frottement du sol. La troisième partie présente les essais cycliques et discute de l'influence de la densité relative et de la fraction des fines sur le potentiel de liquéfaction du mélange. Les résultats montrent que la résistance à la liquéfaction augmente avec l'augmentation de la densité relative et la diminution de l'amplitude du chargement, le potentiel de liquéfaction du mélange de sable de Chlef–Limon LC diminue avec l'augmentation de la teneur en fines jusqu'à la teneur fines  $F_c = 40\%$ . **Pour citer cet article : A. Arab, C. R. Mecanique 337 (2009).**

© 2009 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

## Abstract

**On monotonic and cyclic behavior of silty sand.** This Note presents a laboratory study of the influence of low plastic fines on the behavior of a silty sand. The study is based on drained and undrained triaxial compression tests which were carried out for fractions of fines varying between 0 and 50%. Tests were conducted on samples a medium dense sand having a relative density  $I_d = 0.5$ . The Note is composed of two parts. The first one presents the characteristics of the soils used in this study, the second provides an analysis of the experimental results and discusses the influence of fines on the mechanical characteristics of the sand–silt mixture. The tests show that the increase in the fines fraction reduces the soil dilatancy and amplifies the phase of contractance. It has a weak influence on the characteristic angle, but reduces the frictional angle of the soil. The third part presents the influence of relative density and fines content on the cyclic behavior and discusses their influence on the liquefaction potential of the sand–silt mixture. The tests show that the potential of liquefaction increase with increasing relative density and the resistance of liquefaction decrease with the increase of fines content. **To cite this article: A. Arab, C. R. Mecanique 337 (2009).**

© 2009 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

*Mots-clés* : Sols ; Sable limoneux

*Keywords* : Soils ; Silty sand

Adresse e-mail : [ah\\_arab@yahoo.fr](mailto:ah_arab@yahoo.fr).

## Abridged English version

Clayey sand and silty sand soils are frequently met in nature. The projects constructed on these types of soils require a good knowledge of their mechanical behavior. Laboratory studies showed that the behavior of the mixture sand–fines depends on the plasticity of the fine grained soils. The behavior of a sand–silt mixture depends mainly on the fines content. Indeed, until a certain limit the fines occupy only the voids, and do not affect significantly the behavior of the mixture. For this purpose, the notion of the inter-granular void was suggested to characterize these kinds of soils (Kenny [1], Mitchell [2]). The liquefaction of the mixtures sands–fine grained soils has been extensively studied during last two decades. The results show that according to the plasticity and of the type of the soils, the increase in the fraction of fines can lead to an increase in resistance to the liquefaction of these soils Amini and Qi [3], or to a decrease in this resistance (Shen et al. [4], Troncosco and Verdugo [5], Finn et al. [6], Vaid [7], Zlatovic and Ishihara [8]). Other studies showed that resistance to liquefaction decreases with the fines content, until reaching a minimum value when it increases (Law and Ling [9], Koester [10], Bouferra and Shahrour [11]). In this Note, we present a laboratory study of the behavior of a sand–silt mixture on drained and undrained conditions for a fines content ranging from 0 to 50%. These tests were conducted to better understand the effect of low-plastic fines on the mechanical behavior of the sand–silt mixture.

The Note is composed of three parts. In the first we present materials tested, the second gives an analysis of the experimental results of the monotonic tests carried out and discusses the influence of fines on the mechanical characteristics of the sand–silt mixture. The third part presents the cyclic tests and discusses the effect of the density and the fraction of fines on the liquefaction potential of the mixture. The tests were carried out on a mixture of Chlef sand (Algeria) and Chlef River silt. Chlef sand has been used for all tests presented in this research. Its average mean diameter is  $D_{50} = 0.61$  mm. The plasticity index of the silt is  $I_P = 5.81\%$ . The monotonic tests were carried out with a relative density  $D_r = 50\%$  and the cyclic tests to a relative density  $D_r = 12.50$  and  $65\%$ .

The drained monotonic tests show that the fines fraction affects in a significant manner the variations of the deviatoric stress and volume change. The increase in the fines content ranging from 0 to 50% leads to a reduction in the initial stiffness of the soil and resistance of the soil (peak deviatoric stress). For the undrained tests, we note that the increase in the fines fraction induces an increase in the water pressure. This increase results from the role of fines to increase the contractance of the mixture which was observed during the drained tests. The results show that the increase in the fines content induces a reduction of the internal friction angle of silty soil (the friction angle decreases from  $31^\circ$  to  $27^\circ$  when the fines fraction increases from 0 to 50%), but affects slightly the characteristic angle. However, the residual strength  $S_{us}$  decreases in a linear manner with the increase of the fines fraction. The cyclic tests show that liquefaction resistance increases with the increase of density and decrease of the loading amplitude. The increase in the resistance to liquefaction becomes very marked when the relative density exceeds 50% for the great ratios of shear stress  $CSR = 0.25$  and  $0.35$ . The cyclic liquefaction resistance (CLR) decreases with the increase in the fines content.

## 1. Introduction

Des sols constitués d'un mélange sable–argile ou sable–limon sont fréquemment rencontrés. Les projets d'aménagement et de construction sur ce type de sols nécessitent une bonne connaissance de leur comportement mécanique.

Des études en laboratoire ont montré que le comportement d'un mélange sable–sols fins dépend de la plasticité des sols fins. Le comportement d'un mélange sable–limon dépend principalement de la teneur en fines. En effet, jusqu'à une certaine teneur en fines, celles-ci occupent seulement le vide spatial, et n'affectent pas d'une manière significative le comportement du mélange. Pour cette raison, l'utilisation de l'indice des vides intergranulaire a été suggérée pour caractériser ces sols (Kenny [1], Mitchell [2]). De nombreux travaux ont été consacrés à l'étude de la liquéfaction des mélanges sable–sols fins. Les résultats montrent qu'en fonction de la plasticité et du type des sols étudiés, l'augmentation de la fraction des fines peut conduire à une augmentation de la résistance à la liquéfaction de ces sols (Amini et Qi [3]), ou une diminution de cette résistance (Shen et al. [4], Troncosco et Verdugo [5], Finn et al. [6], Vaid [7], Zlatovic et Ishihara [8]). D'autres études ont montré que la résistance à la liquéfaction diminue avec l'augmentation de la teneur en fines jusqu'à atteindre une résistance minimale puis ré-augmente avec la teneur en fines (Law et Ling [9], Koester [10], Bouferra et Shahrour [11]).

Dans cette Note, on présente une étude en laboratoire du comportement d'un mélange sable–limon sur des chemins drainés et non drainés pour une teneur en fines variant entre 0 et 50%. Ces essais permettent de mieux comprendre

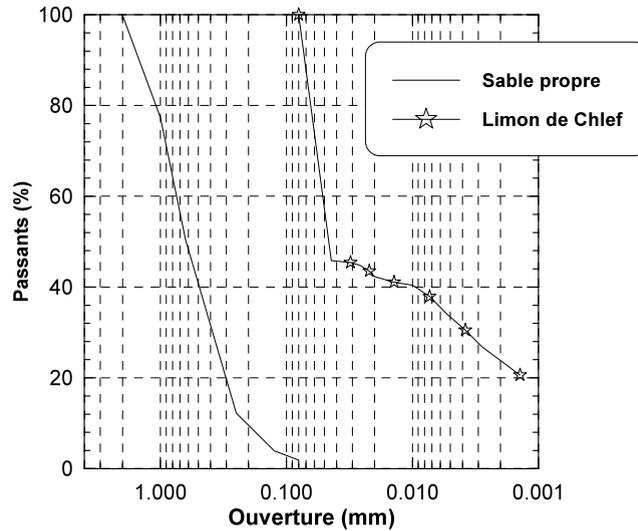


Fig. 1. Courbe granulométrique des matériaux utilisés.

Fig. 1. Granular distribution for the soils used in the study.

Tableau 1

Caractéristiques du mélange sable–argile.

Table 1

Characteristics of the sand–silt mixture.

Fraction des fines (%)	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60
$e_{\max}$	0,854	0,829	0,798	0,770	0,748	0,735	0,718	0,732	0,874	1,007
$e_{\min}$	0,535	0,490	0,472	0,462	0,431	0,417	0,412	0,479	0,600	0,657

l'influence de la fraction des fines peu plastiques sur le comportement mécanique de ce mélange. La Note est composée de trois parties. Dans la première on présente les matériaux utilisés, la seconde donne une analyse des résultats expérimentaux des essais monotones réalisés et discute de l'influence des fines sur les caractéristiques mécaniques du mélange sable–limon. La troisième partie présente les essais cycliques et discute de l'influence de la densité et de la fraction des fines sur le potentiel de liquéfaction du mélange.

## 2. Matériaux étudiés

Les essais ont été réalisés sur un mélange du sable de Chlef (Algérie) et du limon de l'Oued de Chlef. Les courbes granulométriques de ces sols sont données dans la Fig. 1. Le sable de Chlef est un sable moyen, avec un diamètre moyen  $D_{50} = 0,61$  mm. Le limon est peu plastique avec un indice de plasticité ( $I_p$ ) égal à 6. L'étude a été réalisée pour une fraction des fines ( $F_c$ ) allant jusqu'à 50%. Le Tableau 1 et la Fig. 2 donnent les variations des indices des vides maximal et minimal avec la fraction des fines. On note que ces deux indices diminuent avec l'augmentation de la fraction des fines jusqu'à  $F_c = 35\%$  ensuite, ils ré-augmentent avec la fraction des fines. Les essais monotones ont été réalisés à une densité relative  $I_d = 50\%$  et les essais cycliques à une densité relative  $I_d = 12, 50$  et  $65\%$ .

Selon différents auteurs (Kenny [1], Mitchell [2]), le comportement d'un mélange sable–limon dépend de l'indice des vides intergranulaire ( $e_s$ ) :

$$e_s = \frac{\nu_v + \nu_f}{\nu_s} \quad (1)$$

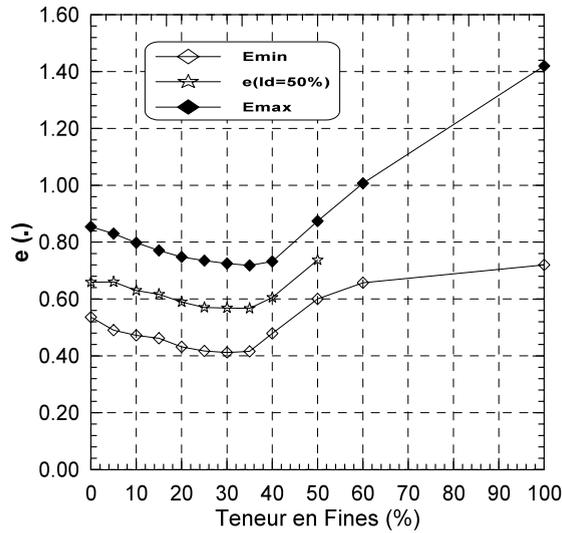


Fig. 2. Variation des indices de vide maximal et minimal avec la fraction des fines.

Fig. 2. Variation of the inter granular voids ratio with the fraction of fines.

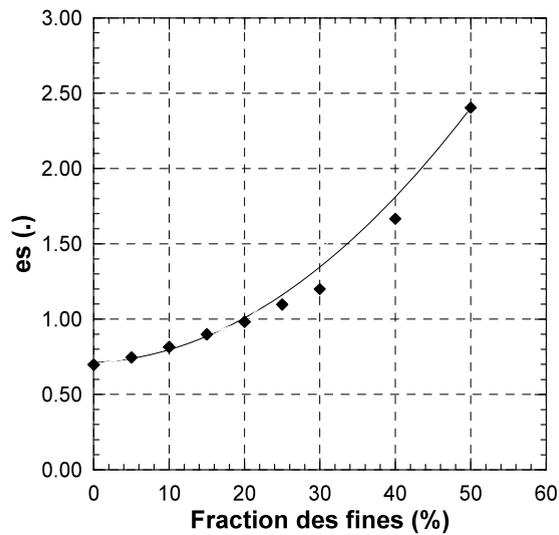


Fig. 3. Variation de l'indice des vides intergranulaire en fonction de la teneur en fines.

Fig. 3. Variation of the inter granular voids ratio with the fraction of fines.

Quand les masses spécifiques du limon et du sable sont très proches, cet indice ( $e_s$ ) peut être déterminé en fonction de l'indice des vides global ( $e$ ) et de la fraction des fines ( $F_c$ ) par l'expression Thevanayagam [12] :

$$e_s = \frac{e + (F_c/100)}{1 - (F_c/100)} \quad (2)$$

La Fig. 3 montre la variation de l'indice des vides intergranulaire avec la teneur en fine ( $F_c$ ) pour la densité relative  $I_d = 50\%$ . On note que cet indice augmente de 0,7 à 2,4 quand la fraction des fines croît de 0 à 50%.

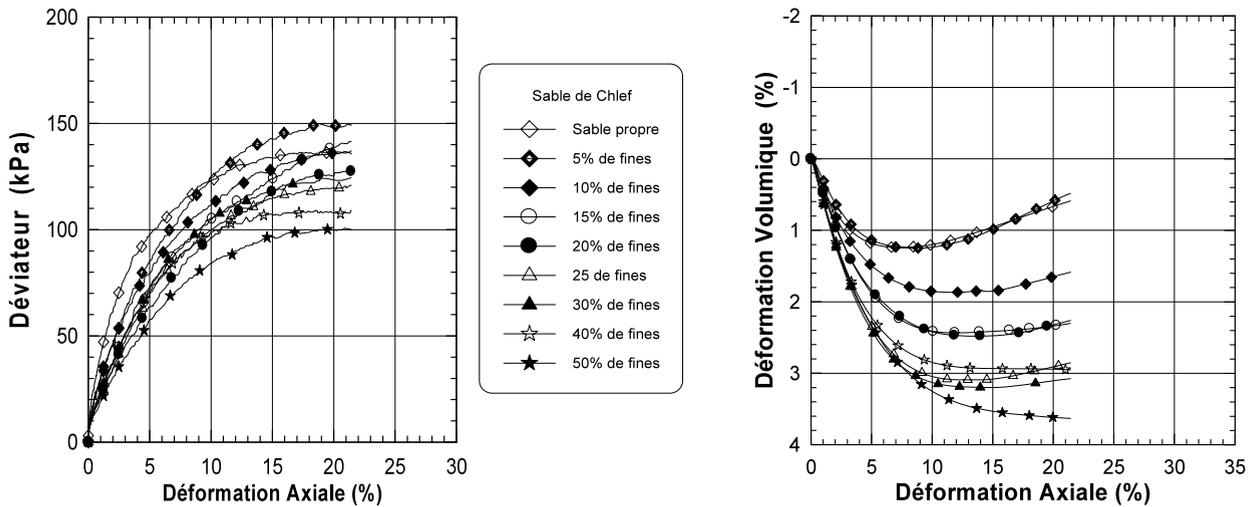


Fig. 4. Influence de la teneur en fines sur la réponse drainée du mélange sable–limon.

Fig. 4. Influence of the content of fines on the drained response of the sand–silt mixture.

### 3. Résultats des essais monotones réalisés

#### 3.1. Essais de compression drainée

La Fig. 4 montre les résultats des essais de compression drainée réalisés pour des fractions des fines comprises entre zéro (sable propre) et 50%. On note que la fraction des fines affecte d'une manière sensible les variations du déviateur et de la déformation volumique. L'augmentation de la fraction des fines entre 0 et 50% induit une diminution de la raideur initiale du sol et de la résistance du sol (déviateur maximal). En ce qui concerne la déformation volumique, on note que le sable propre et les échantillons à faible fraction des fines ( $F_c < 20\%$ ) présentent une phase de contractance suivie d'une phase de dilatance. Pour le sable propre et l'échantillon à 5% de fines, la phase de dilatance apparaît à partir de 8% de déformation axiale, tandis que pour les échantillons ayant une teneur en fines de 10% à 30% la dilatance est retardée et apparaît à partir d'une déformation axiale de 13%. Pour les échantillons avec une teneur en fines de 40 et 50%, on observe uniquement une phase de contractance. La Fig. 5a montre les courbes de variation des déformations volumiques au changement de phase (contractance–dilatance) et à l'état stable (stabilisation dans l'évolution de la contrainte déviatorique) en fonction de la teneur en fines. On remarque que l'écart entre ces courbes décroît avec l'augmentation de la fraction des fines, traduisant la disparition de la phase de dilatance et l'apparition uniquement de la phase de contractance après 30% de fraction de fines. La Fig. 5b montre l'évolution du rapport de contrainte ( $q/p'$ ) en fonction de la déformation axiale. On constate que ce rapport diminue avec l'augmentation de la teneur en fines ( $F_c$ ), ce qui traduirait l'effet de la fraction des fines dans la diminution de la dilatance du sol.

#### 3.2. Essai de compression non drainée

La Fig. 6 montre les résultats des essais non drainés réalisés pour différentes valeurs de la fraction des fines (entre 0 et 50%) à une pression de confinement initial de 100 kPa. On note que l'augmentation de la fraction des fines conduit à une augmentation de la pression d'eau. Cette augmentation résulte du rôle des fines dans l'augmentation de la contractance du mélange observé lors des essais drainés. L'augmentation de la pression interstitielle conduit à une réduction de la contrainte effective de confinement et par conséquent à une réduction de la résistance du mélange au déviateur comme l'illustre la Fig. 6a. Le chemin de contrainte dans le plan ( $p', q$ ) montre bien le rôle de l'augmentation des fines dans la réduction de la pression moyenne effective et du déviateur maximal.

La Fig. 7 montre les résultats des essais de compression non drainée réalisés à un confinement initial de 20 kPa. Ces résultats sont qualitativement identiques à ceux obtenus pour la pression de confinement de 100 kPa avec sur le plan quantitatif une amplification de l'effet de la fraction des fines sur la variation de la pression d'eau et de la résistance du mélange au chargement déviatorique. Dans ce cas, l'influence des fines sur le comportement non drainé

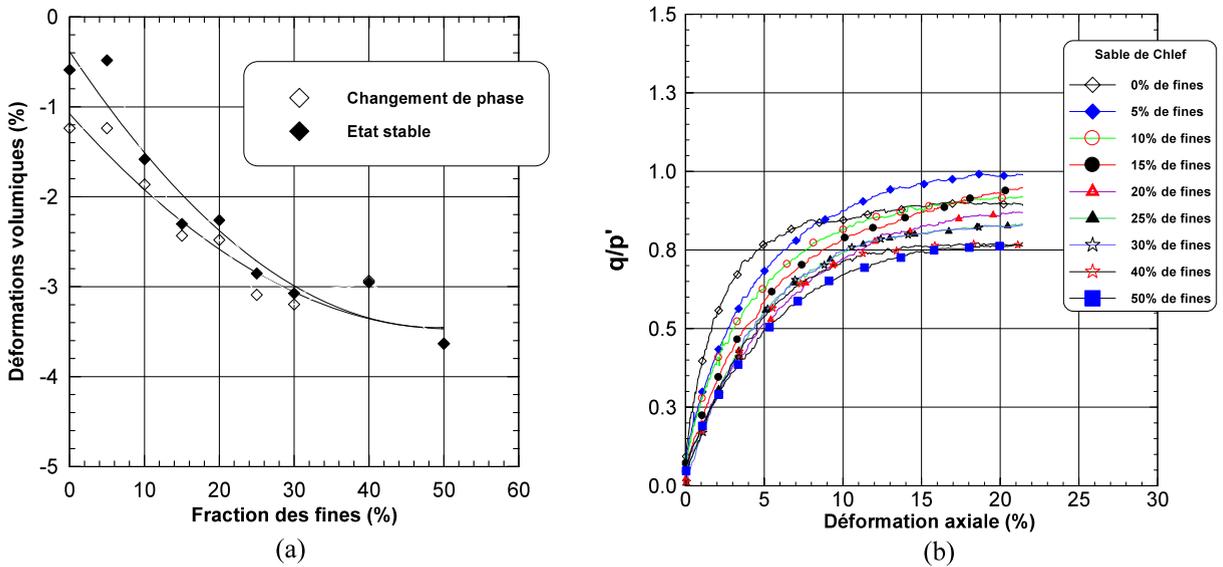


Fig. 5. Influence de la fraction des fines sur le comportement drainé du sol de Chlef. (a) Déformations volumiques au changement de phase et à la stabilisation, (b) rapport de contrainte en fonction de la déformation axiale.

Fig. 5. Influence of the fines fraction on drained behavior of Chlef soil. (a) Volume deformations at the phase change and at stabilization, (b) stress ratio versus axial deformation.

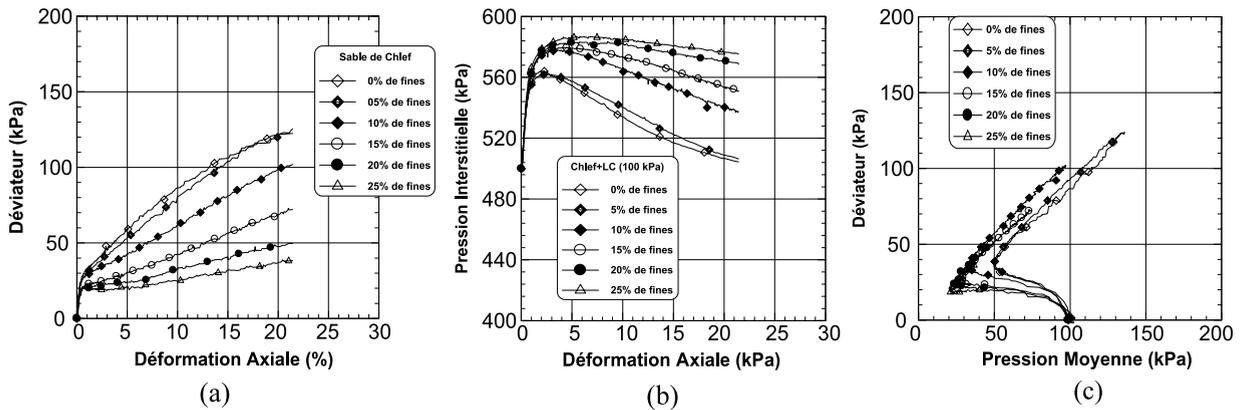


Fig. 6. Influence de la teneur des fines sur le comportement non drainé d'un mélange sable–limon (confinement initial = 100 kPa).

Fig. 6. Influence of the fines fraction on the undrained behavior of the silty-sand mixture (initial effective lateral stress = 100 kPa).

du mélange est observée pour les faibles teneurs en fines (5% et 10%), et devient très prononcée au delà de 15%. Ces résultats sont en accord avec les observations de Shen et al. [4] et de Troncosco et Verdugo [5].

### 3.3. Influence des fines sur les caractéristiques mécaniques

La Fig. 8a montre l'évolution du module de déformation sécant ( $q/\varepsilon_a$ ) en fonction de la déformation axiale ( $\varepsilon_a$ ) des essais drainés. On observe que ce module décroît avec l'augmentation de la teneur en fines. Cette diminution est très significative jusqu'à une déformation de 0,7%, ensuite le module sécant tend à se stabiliser. La Fig. 8b montre l'influence de la fraction des fines sur le module de déformation sécant mesuré pour  $\varepsilon_a = 1, 5, 10$  et 20%. On note que ce module décroît avec l'augmentation de la fraction des fines jusqu'à  $F_c = 20\%$ , ensuite il tend à se stabiliser (Fig. 8b).

La Fig. 9a montre l'influence de la fraction des fines sur l'angle de frottement du mélange sable–limon. On note que cet angle décroît (selon une relation quasi-linéaire) de  $31^\circ$  à  $27^\circ$  quand la fraction des fines croît de 0 à 50%. La

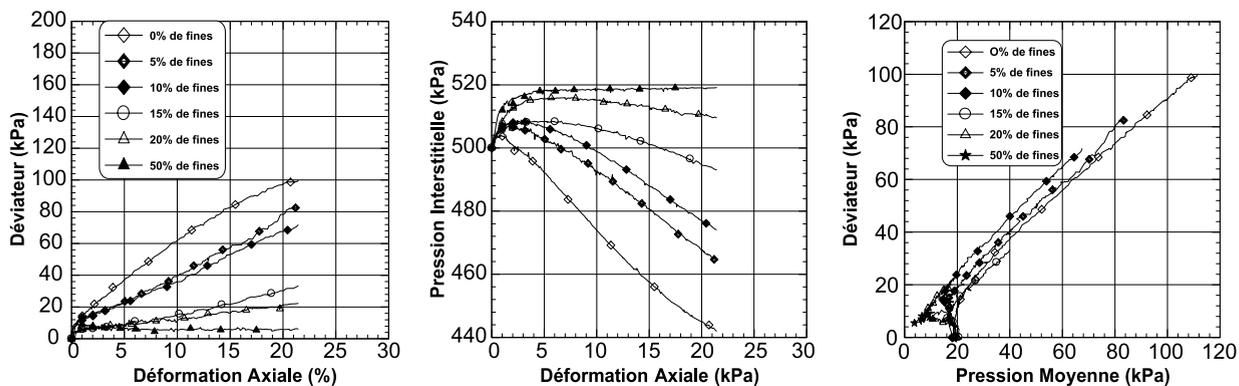


Fig. 7. Influence de la teneur des fines sur le comportement non drainé d’un mélange sable–limon (confinement initial = 20 kPa).  
 Fig. 7. Influence of the fines fraction on the undrained behavior of the silty-sand mixture (initial effective lateral stress = 20 kPa).

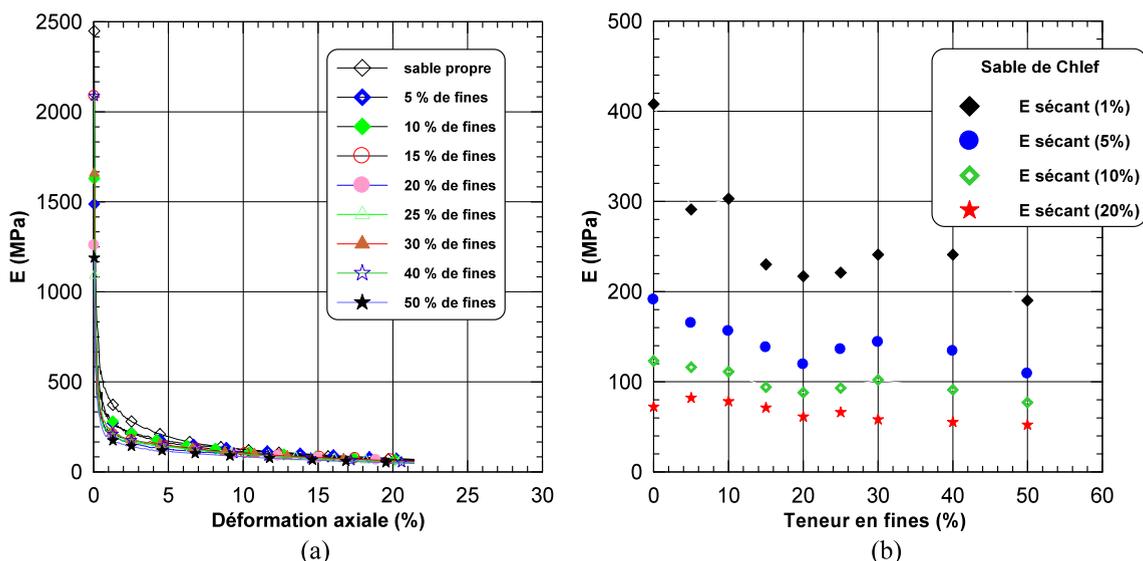


Fig. 8. Influence de la fraction des fines sur le module de déformation sécant (essais drainés). (a) Variation du module sécant avec la déformation axiale. (b) Module sécant à  $\epsilon_a = 0,01$ .  
 Fig. 8. Influence of the fines fraction on the secant modulus (drained tests). (a) Variation of the secant modulus with the axial deformation. (b) Secant modulus at  $\epsilon_a = 0.01$ .

Fig. 9b montre la variation de l’angle caractéristique (changement de phase contractance/dilatance) en fonction de la teneur en fines. On remarque que la teneur en fines n’a pas d’influence sur l’angle caractéristique, la valeur de cet angle est d’environ  $28^\circ$  pour les mélanges étudiés. La réduction de l’angle de frottement avec l’augmentation de la fraction des fines et la faible influence de cette dernière sur l’angle caractéristique expliquent le rôle de la fraction des fines dans l’augmentation de la phase de contractance des sols étudiés.

### 3.4. Influence des fines sur l’effort résiduel

Quand les sables sont soumis à un cisaillement non drainé ; après le pic de déviateur, la résistance au cisaillement chute à une valeur presque stable sur une large déformation. Conventionnellement, cette résistance au cisaillement est appelée effort résiduel ou l’effort de cisaillement à l’état presque stable ( $Q_{ss}$ ). L’effort résiduel est défini par Ishihara [13] comme :

$$S_{us} = (q_s/2) \cos \phi_s \tag{3}$$

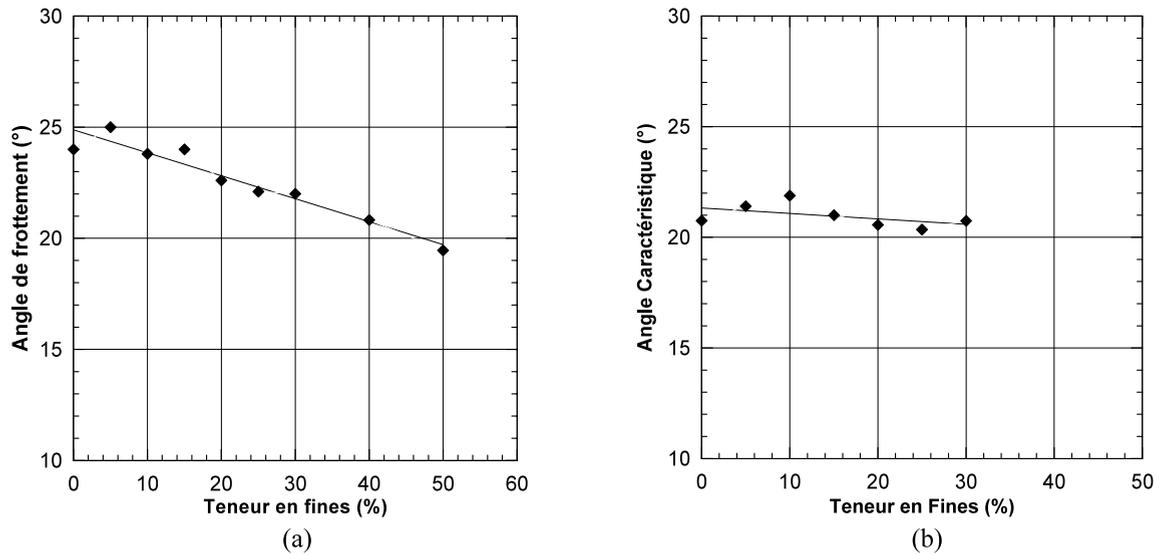


Fig. 9. Influence de la fraction des fines sur l'angle de frottement et l'angle caractéristique.

Fig. 9. Influence of the fines fraction on the frictional and characteristic angles.

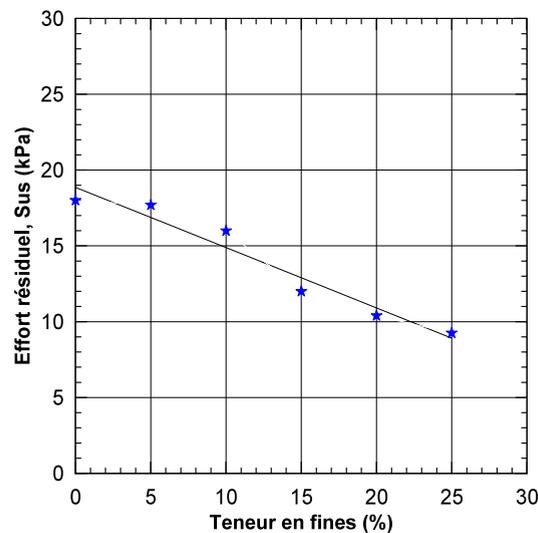


Fig. 10. Influence de la fraction des fines sur l'effort de cisaillement résiduel ( $S_{us}$ ).

Fig. 10. Influence of the fines fraction on the residual strength ( $S_{us}$ ).

où  $q_s$  et  $\phi_s$  indiquant le déviateur de contrainte et l'angle de frottement interne mobilisés à l'état presque stable.

La Fig. 10 montre l'influence de la teneur en fines sur l'effort résiduel ( $S_{us}$ ). L'effort résiduel ( $S_{us}$ ) diminue d'une manière linéaire et significative avec l'augmentation de la fraction des fines résultant du rôle des fines quant à l'amplification de la contractance des sols étudiés.

#### 4. Résultats des essais cycliques réalisés

##### 4.1. Influence de la densité relative

Des essais cycliques non drainés ont été réalisés sur du sable de Chlef pour trois densités relatives  $I_d = 0,15, 0,50$  et  $0,65$ . Pour chaque densité, nous avons fait varier l'amplitude du chargement afin de construire la courbe du potentiel

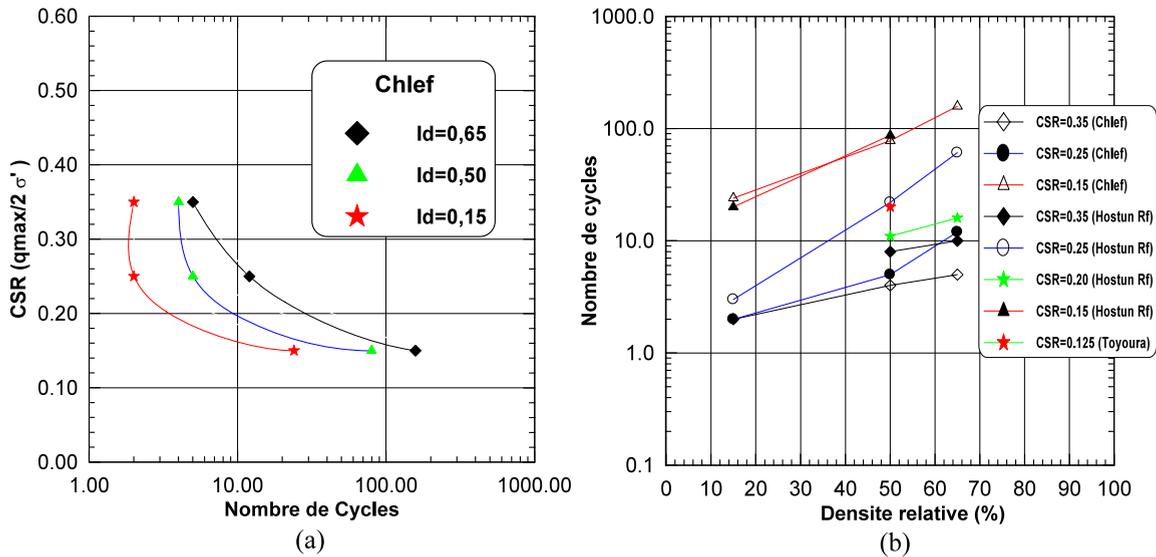


Fig. 11. Effet de la densité relative sur le potentiel de liquéfaction du sable de Chlef.

Fig. 11. Influence of the relative density on the potential of liquefaction.

de liquéfaction. Les essais ont été réalisés pour les amplitudes  $q_m = 70, 50$  et  $30$  kPa. On constate que la liquéfaction s'obtient rapidement pour les fortes amplitudes : après deux cycles pour les chargement à  $q_m = 70$  et  $50$  kPa, alors qu'il faut 22 cycles pour la liquéfaction sous le chargement  $q_m = 30$  kPa pour les essais réalisés avec une densité relative  $I_d = 0,15$ ; tandis que pour les mêmes amplitudes de chargement la liquéfaction n'est obtenue qu'après 4, 5 et 80 cycles pour les essais avec une densité relative  $I_d = 0,50$ . Pour les essais réalisés avec une densité relative  $I_d = 0,65$  et pour les mêmes amplitudes de chargement, la liquéfaction n'est obtenue qu'après 5, 12 et 140 cycles.

Les résultats de l'ensemble de ces essais sont résumés sur la Fig. 11. La Fig. 11a illustre l'influence de la densité relative sur le potentiel de liquéfaction du sable de Chlef. Elle montre clairement que l'augmentation de la densité relative conduit à une augmentation de la résistance à la liquéfaction de ce sable. La Fig. 11b montre l'influence de la densité relative sur la résistance à la liquéfaction définie par l'amplitude du chargement induisant la liquéfaction après 15 cycles pour différents types de sable (sable de Chlef, sable d'Hostun RF et le sable de Toyoura d'après Tatsuoka et al. [14]). Cette figure montre bien que la résistance à la liquéfaction augmente avec l'augmentation de la densité relative et avec la diminution de l'amplitude du chargement. La différence entre la résistance du sable à une densité relative  $I_d = 0,50$  et celle pour  $I_d = 0,65$  est très importante pour le sable de Chlef.

#### 4.2. Effet des fines sur le potentiel de liquéfaction

Les Figs. 12a et 12b montrent la variation du potentiel de liquéfaction et la résistance à la liquéfaction cyclique en fonction du nombre de cycles (RLC) pour des échantillons avec un indice de densité  $I_d = 0,65$ . La résistance à la liquéfaction est définie par le rapport de contrainte cyclique donnant la liquéfaction pour 15 cycles. On remarque que le potentiel de liquéfaction du mélange de sable de Chlef–Limon LC diminue avec l'augmentation de la teneur en fines jusqu'à la teneur en fines  $F_c = 40\%$ . Ces résultats sont cohérents avec ceux trouvés lors des essais monotones qui ont montré que l'augmentation de la fraction des fines amplifie la phase de contractance. L'amplification de la phase de contractance a pour conséquence la diminution du potentiel de liquéfaction lorsque la teneur en fines  $F_c$  augmente.

La Fig. 13 montre les courbes de potentiel du sable de Chlef et d'Hostun RF propres ( $F_c = 0\%$ ) pour la même densité initiale  $I_d = 0,65$ . On constate que la courbe de potentiel du sable d'Hostun RF présente une résistance plus élevée que celle du sable de Chlef; elle s'explique par le caractère dilatant du sable d'Hostun RF par rapport à celui de Chlef qui est de caractère contractant.

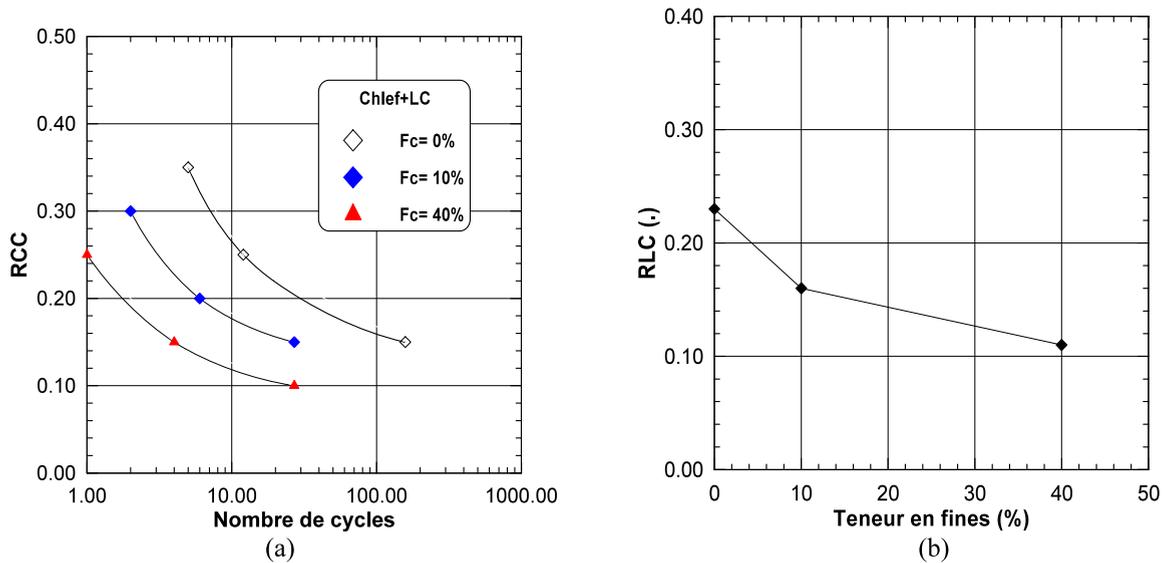


Fig. 12. Influence des fines sur le potentiel de liquéfaction du mélange sable de Chlef–limon LC.

Fig. 12. Influence of fines fraction on the potential of liquefaction of the mixture Chlef–silt LC.

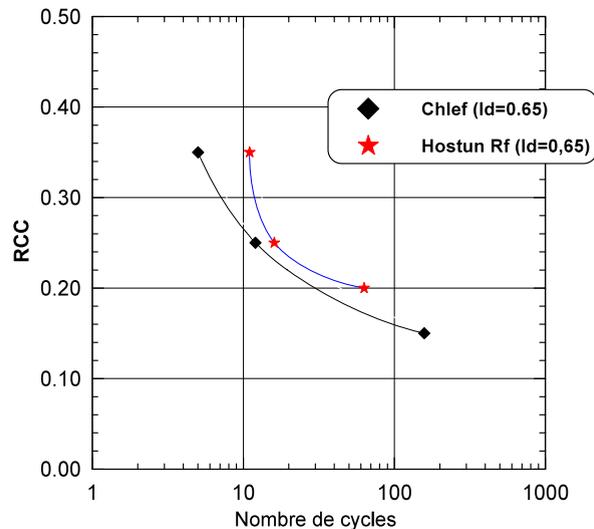


Fig. 13. Résistance à la liquéfaction des sables de Chlef et d'Hostun RF.

Fig. 13. Liquefaction resistance of Chlef and Hostun RF sands.

## 5. Conclusion

Cet article a comporté une présentation des résultats d'une étude en laboratoire de l'influence des fines peu plastiques sur le comportement d'un sable limoneux. L'étude a comporté des essais triaxiaux drainés et non drainés monotones et cycliques qui ont été réalisés à une densité relative  $I_d = 15; 50$  et  $65\%$  pour des fractions de fines variant entre 0 (sables propre) et  $50\%$ .

Les essais montrent que l'augmentation de la teneur en fines induit une réduction de l'angle de frottement du sol-limoneux (l'angle de frottement décroît de  $31^\circ$  à  $27^\circ$  quand la fraction de la fraction des fines croît de 0 à  $50\%$ ), mais affecte peu l'angle caractéristique. L'effort résiduel  $S_{US}$  diminue d'une manière linéaire et significatif avec l'augmentation de la fraction des fines. Ceci se traduit par un effet important sur le comportement volumique qui se manifeste

par une amplification de la phase de contractance lorsque la fraction des fines augmente. Cet effet est également important pour le comportement des sables-limoneux sur des chemins non drainés à cause du fort couplage entre le comportement déviatorique et volumique pour ce type de chemins.

Les essais cycliques montrent que la résistance à la liquéfaction augmente avec l'augmentation de la densité et la diminution de l'amplitude de chargement. L'augmentation de la résistance à la liquéfaction devient très prononcée lorsque la densité relative dépasse les 50% pour les grands rapports de contrainte de cisaillement  $CSR = 0,25$  et  $0,35$ . La résistance à la liquéfaction cyclique (RLC) diminue avec l'augmentation de la teneur en fines.

## Références

- [1] T.C. Kenny, Residual strength of mineral mixtures, in: Proc. 9th Int. Conf. Soil Mech., vol. 1, Tokyo, 1997, pp. 155–160.
- [2] J.K. Mitchell, *Fundamental of Soil Behaviour*, 2nd ed., John Wiley Interscience, New York, 1993.
- [3] F. Amini, G.Z. Qi, Liquefaction testing of layered silty sands, *Journal of Geotechnical Engineering* 126 (3) (2000) 208–217.
- [4] C.K. Shen, J.L. Vrymoed, C.K. Uyeno, The effects of fines on liquefaction of sands, in: *Proceedings of the 9th International Conference on Soil Mech. and Foundation Eng.*, vol. 2, Tokyo, 1997, pp. 381–385.
- [5] J.H. Troncosco, R. Verdugo, Silt content and dynamic behaviour of tailing sands, in: *Proceedings of the 12th International Conference on Soil Mech. and Found. Eng.*, San Francisco, USA, 1985, pp. 1311–1314.
- [6] W.L. Finn, R.H. Ledbetter, G. Wu, Liquefaction on silty soils: Design and analysis, in: *Ground Failures Under Seismic Condition*, in: *Geotechnical Special Publication*, vol. 44, ASCE, 1994, pp. 51–76.
- [7] V.P. Vaid, Liquefaction of silty soils, in: *Ground Failures Under Seismic Condition*, in: *Geotechnical Special Publication*, vol. 44, ASCE, 1994, pp. 1–16.
- [8] S. Zlatovic, K. Ishihara, Normalized behaviour of very loose non-plastic soils: Effects of fabric, *Soils and Foundations* 37 (4) (1997) 47–56.
- [9] K.T. Law, Y.H. Ling, Liquefaction of granular soils with non-cohesive and cohesive fines, in: *Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, Rotterdam, 1992, pp. 1491–1496.
- [10] J.P. Koester, The influence of fine type and content on cyclic strength, in: *Ground Failures Under Seismic Condition*, in: *Geotechnical Special Publication*, vol. 44, ASCE, 1994, pp. 7–33.
- [11] R. Bouferra, I. Shahrouh, Influence of fines on the resistance to liquefaction of a clayey sand, *Ground Improvement* 8 (1) (2004) 1–5.
- [12] S. Thevanayagam, Effect of fines and confining stress on undrained shear strength of silty sands, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 124 (6) (1998) 479–491.
- [13] K. Ishihara, Liquefaction and flow failure during earthquakes, *Geotechnique* 43 (3) (1993) 351–415.
- [14] F. Tatsuoka, S. Miura, Y. Yoshimi, S. Yasuda, Y. Makihara, Cyclic undrained triaxial strength of sand by a cooperative test program, *Soils and Foundations* 26 (1986) 117–128.