# Effet de la fraction des fines sur le comportement d'un sable limoneux

A. ARAB[1, 2]
I. SHAHROUR[1]
S. HAMOUDI[2]
L. LANCELOT[1]

[1] *Laboratoire de mécanique de Lille (UMR 8107) Université de Lille 1 Polytech-Lille 59655 Villeneuve-d'Ascq Cedex*

[2] *Département génie civil USTO Université de Chlef Route de Sendjas, BP 151 02000 Chlef (Algérie)*

**Résumé**

Cet article 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 qui ont été réalisés pour des fractions de fines variant entre 0 et 50 %. Les essais ont été effectués sur des échantillons ayant un indice de densité $I_d = 0,5$. L'article est composé de deux parties. La première présente les sols étudiés ; la seconde donne une analyse des résultats des essais 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.

*Mots-clés :* contractant, drainé, fines, frottement, limon, sable, non drainé, triaxial.

# Influence of fines fraction on the behaviour of a silty sand

**Abstract**

This paper presents a laboratory study of the influence of low plastic fines on the behaviour of a silty and. 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 a medium dense sand with a relative density $I_d = 0.5$. The paper is composed of two parts. The first one presents the characteristics of 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. Tests show that the increase in the fines fraction reduces the soil dilatancy and amplifies the phase of contractance. It has a low influence on the characteristic angle, but reduces the frictional angle of the soil.

*Key words:* contracting, drained, fines, friction angle, sand, silt, triaxial, undrained.

*NDLR : Les discussions sur cet article sont acceptées jusqu'au 1er août 2008.*

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, et n'affectent pas d'une manière significative le comportement du mélange. Pour cette raison, l'utilisation de l'indice des vides intergranulaire « qui considère le volume des fines comme un vide » a été suggérée pour caractériser ces sols (Kenny, 1977 ; Mitchell, 1993).

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 de fines peut conduire à une augmentation de la résistance à la liquéfaction de ces sols (Amini et Qi, 2000), ou à une diminution de cette résistance (Shen *et al.*, 1997 ; Troncoso et Verdugo, 1985 ; Finn *et al.*, 1994 ; Vaid, 1994 ; Zlatovic et Ishihara, 1997). 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 réaugmente avec la teneur en fines (Law et Ling, 1992 ; Koester, 1994; Bouferra et Shahrour, 2004).

Dans cet article, 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 l'influence de la fraction de fines peu plastiques sur le comportement mécanique de ce mélange. Un intérêt particulier a été porté sur l'influence de la fraction de fines sur les variations de volume qui affectent d'une manière importante la réponse non drainée des sols, et par conséquent leur potentiel de liquéfaction. L'article est composé de deux parties. Dans la première, on présente les matériaux utilisés, la seconde donne une analyse des résultats des essais réalisés et discute de l'influence des fines sur les caractéristiques mécaniques du mélange sable-limon.

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 figure 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 de 5,8 %. L'étude a été réalisée pour une fraction de fines massique (Fc) allant jusqu'à 50 %. Le tableau II et la figure 2 donnent les variations des valeurs maximale et minimale de l'indice des vides avec la fraction de fines. On note que ces deux indices diminuent avec l'augmentation de la fraction de fines jusqu'à Fc = 35 % ensuite, ils réaugmentent avec la fraction de fines. Les essais ont été réalisés à un indice de densité $I_d$ = 50 %. Les valeurs de l'indice des vides correspondant à cette densité sont données dans le tableau I et la figure 2.

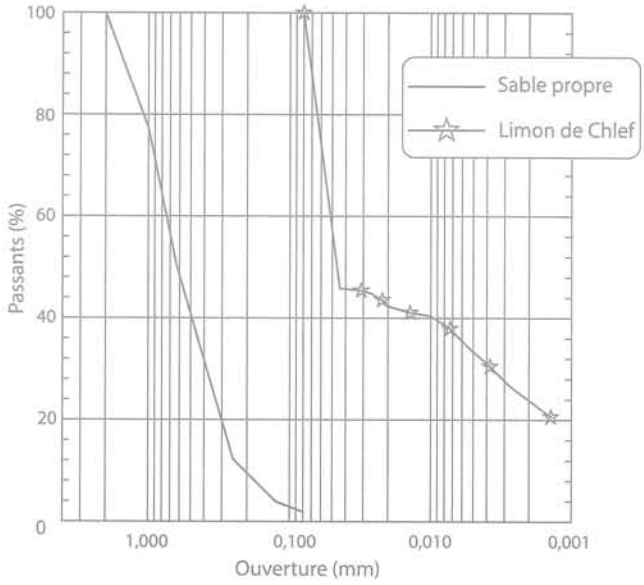


FIG. 1 **Courbe granulométrique des matériaux utilisés.**
Granular distribution for the soils used in the study.

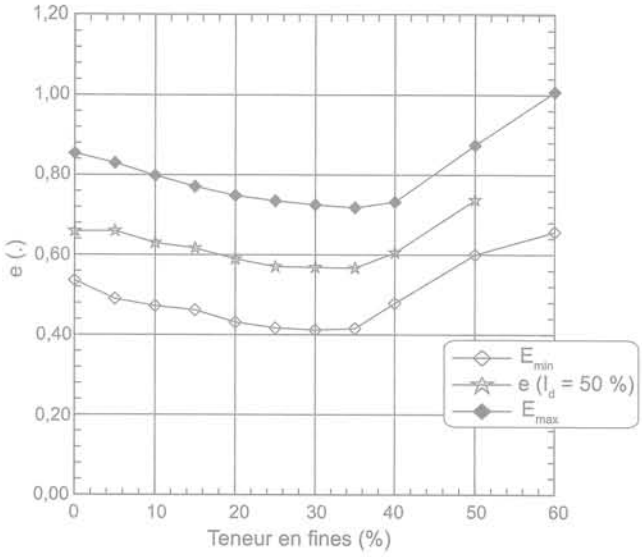


FIG. 2 **Variation des indices des vides maximal et minimal avec la fraction des fines.**
Variation of the maximal and minimal void ratio of the silty-sand mixture.

TABLEAU I **Caractéristiques du mélange sable-argile.**
Characteristics of the sand-silt mixture.

| % limon | 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 | 0,49 | 0,472 | 0,462 | 0,431 | 0,417 | 0,412 | 0,478 | 0,600 | 0,657 |
| e ($I_d$ = 50 %) | 0,659 | 0,659 | 0,630 | 0,616 | 0,589 | 0,570 | 0,568 | 0,605 | 0,605 | – |

Selon différents auteurs (Kenny, 1977 ; Mitchell, 1993), le comportement d'un mélange sable-limon dépend de l'indice des vides intergranulaire ($e_s$) :

$$e_s = \frac{V_v + V_f}{V_s} \quad (1)$$

$V_v$, $V_f$ et $V_s$ désignent les volumes de vide, des fines et des grains solides, respectivement.

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 (Fc) par l'expression suivante (Thevanayagam, 1998) :

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

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

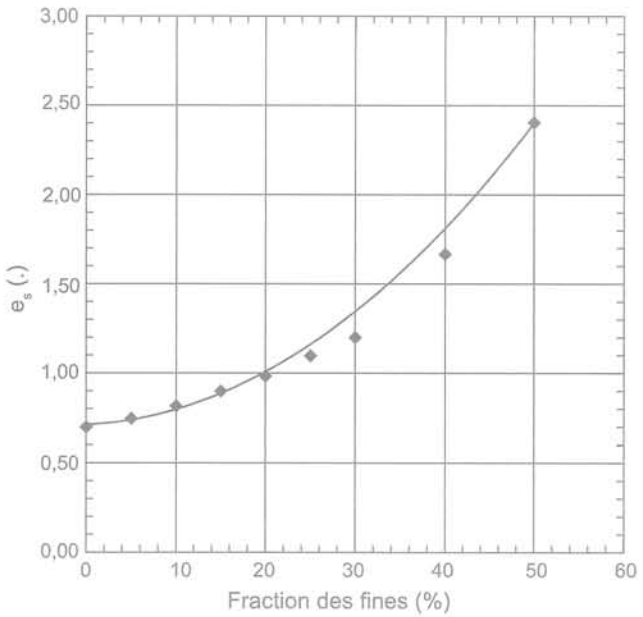


FIG. 3 **Variation de l'indice des vides intergranulaire en fonction de la teneur en fines.**
Variation of the inter granular void ratio with the fraction of fines.

## 3 Résultats des essais réalisés

### 3.1 Essais de compression drainée

La figure 4 montre les résultats des essais de compression drainée réalisés à une pression de confinement de 100 kPa pour des fractions de 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 de 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 de fines (Fc < 20 %) présentent une phase de contractance suive 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 figure 5 montre les courbes de variation des déformations volumiques à l'état caractéristique (changement de phase contractance-dilatance) et à la plasticité parfaite 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.

### 3.2 Essai de compression non drainée

La figure 6 montre les résultats des essais non drainés réalisés pour différentes valeurs de la fraction de fines (entre 0 et 50 %) à une pression de confinement initial de 100 kPa. Tous les essais ont été réalisés avec une contre-pression de 500 kPa. On note que l'aug-

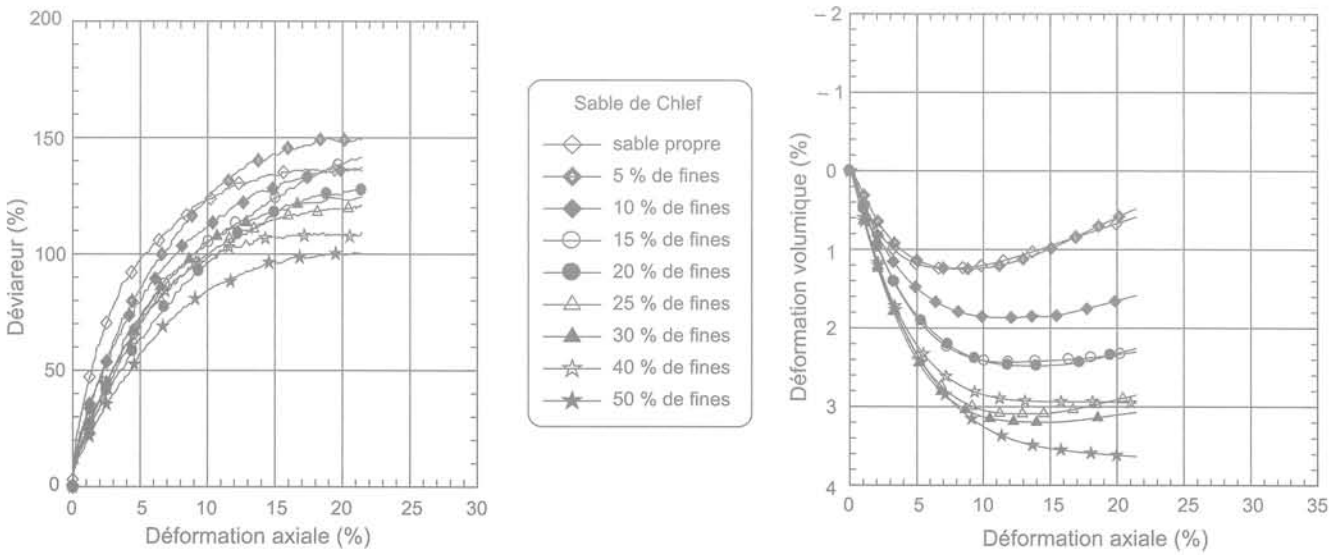


FIG. 4 **Influence de la teneur en fines sur la réponse drainée du mélange sable-limon.**
Influence of the content of fines on the drained response of the sand-silt mixture.

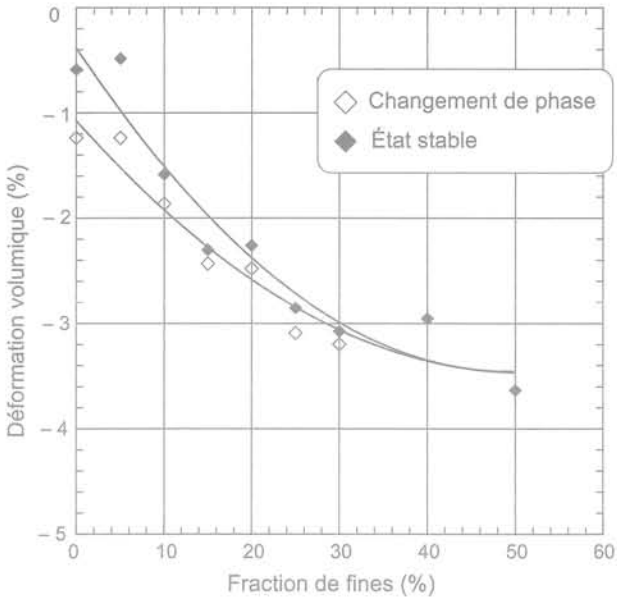


FIG. 5 **Influence de la fraction de fines sur les déformations volumiques au changement de phase et à la stabilisation.**
Influence of the fines fraction on the volume deformations at the phase change and at stabilization.

mentation de la fraction de fines conduit à une augmentation de la pression interstitielle. Cette augmentation résulte du rôle des fines dans l'augmentation de la contractance du mélange observée 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 figure 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.

La figure 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 de fines sur la variation de la pression interstitielle et de la résistance du mélange sous chargement déviatorique. Dans ce cas, l'influence des fines sur le comportement non drainé 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.* (1977) et de Troncosco et Verdugo (1985).

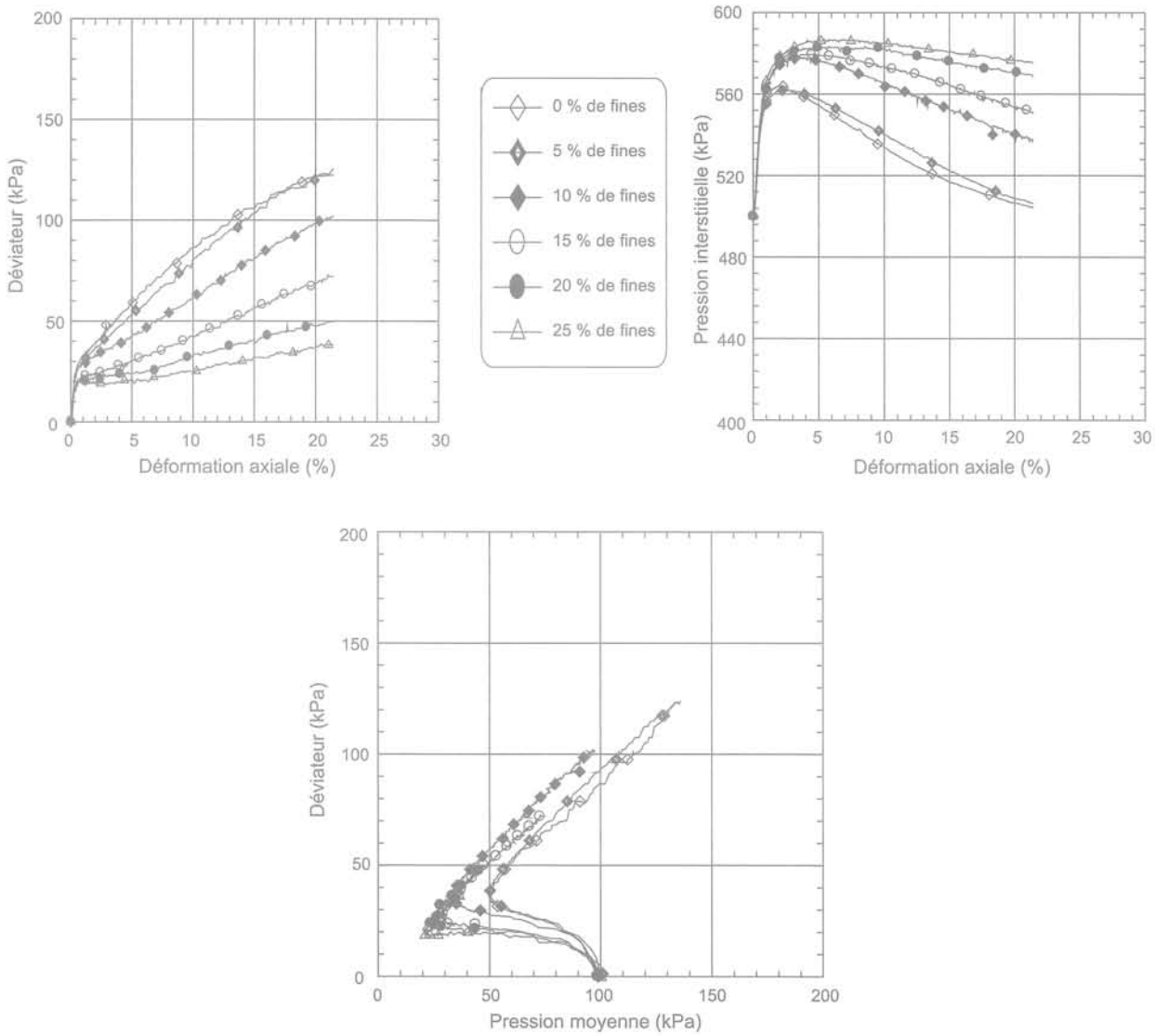


FIG. 6 **Influence de la teneur des fines sur le comportement non drainé d'un mélange sable-limon (confinement initial = 100 kPa).**
Influence of the fines fraction on the undrained behaviour of the silty-sand mixture (initial effective lateral stress = 100 kPa).

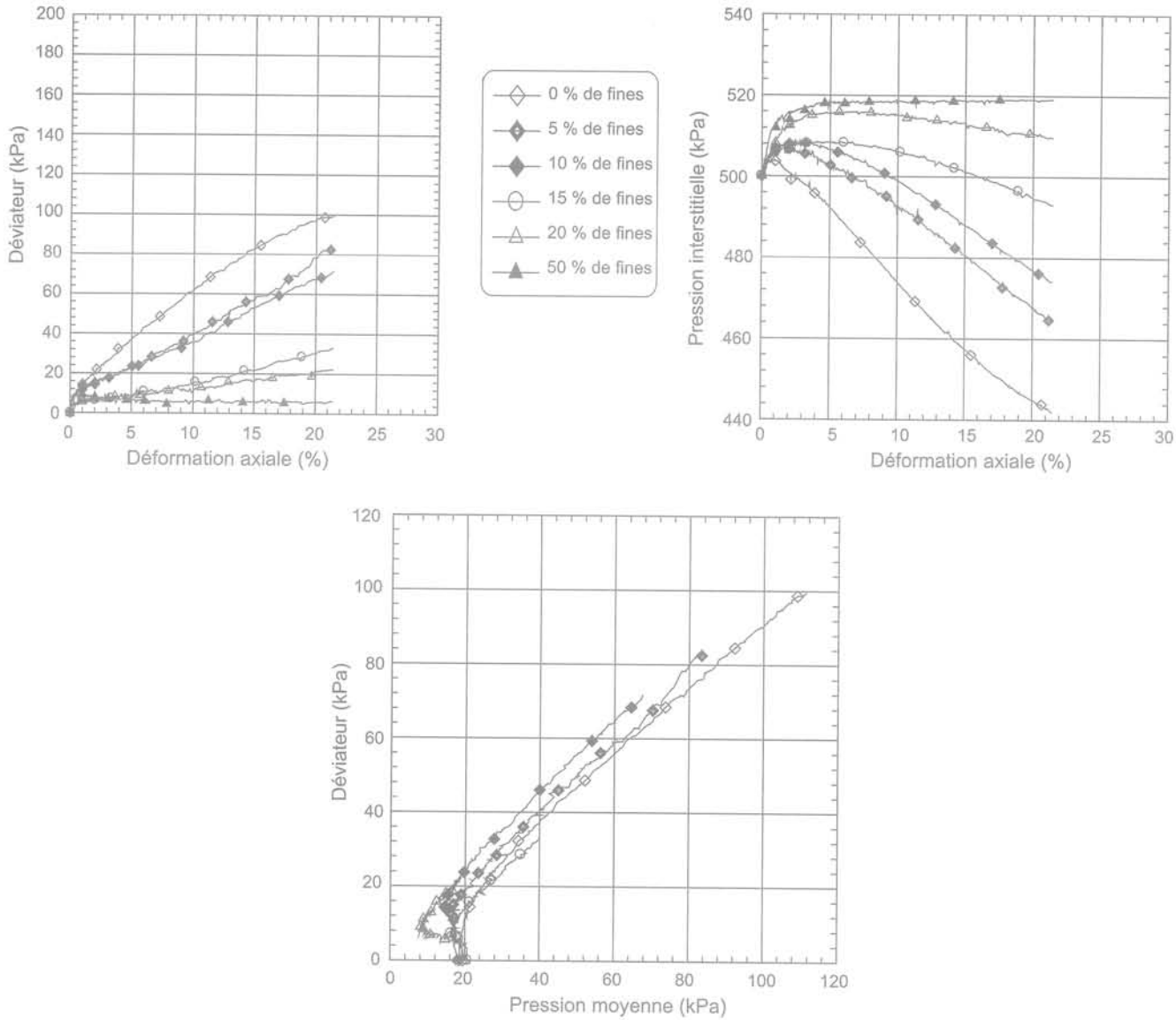


FIG. 7 **Influence de la teneur des fines sur le comportement non drainé d'un mélange sable-limon (confinement initial = 20 kPa).**
Influence of the fines fraction on the undrained behaviour of the silty-sand mixture (initial effective lateral stress = 20 kPa).

## 3.3 Influence des fines sur les caractéristiques mécaniques

La figure 8 montre l'évolution du module de déformation sécant ($q/\varepsilon_a$) en fonction de la déformation axiale ($\varepsilon_a$). 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 figure 8b montre l'influence de la fraction de fines sur le module de déformation sécant mesuré à $\varepsilon_a$ = 1 %. On note que ce module décroît avec l'augmentation de la fraction de fines jusqu'à Fc = 20 %, ensuite il tend à se stabiliser.

La figure 9a montre l'influence de la fraction de fines sur l'angle de frottement du mélange sable-limon. On note que cet angle décroît (selon une relation quasi linéaire) de 24 à 20 degrés quand la fraction des fine croît de 0 à 50 %.

La figure 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 21 degrés pour les mélanges étudiés. La réduction de l'angle de frottement avec l'augmentation de la fraction de fines et la faible influence de cette dernière sur l'angle caractéristique expliquent le rôle de la fraction de fines dans l'augmentation de la phase de contractance des sols étudiés.

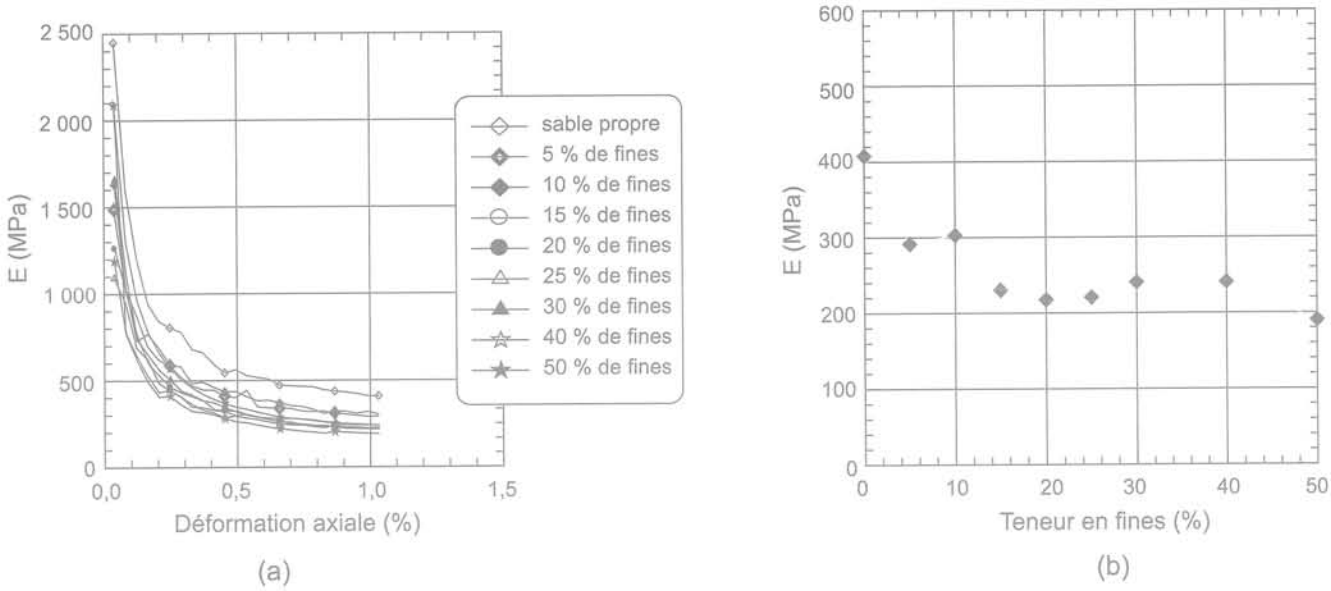


FIG. 8 **Influence de la fraction de fines sur le module de déformation sécant.**
**a) Variation du module sécant avec la déformation axiale ; b) module sécant à $\varepsilon_a = 0{,}01$.**
Influence of the fines fraction on the secant modulus.
a) Variation of the secant modulus with the axial strain ; b) secant modulus at $\varepsilon_a = 0.01$.

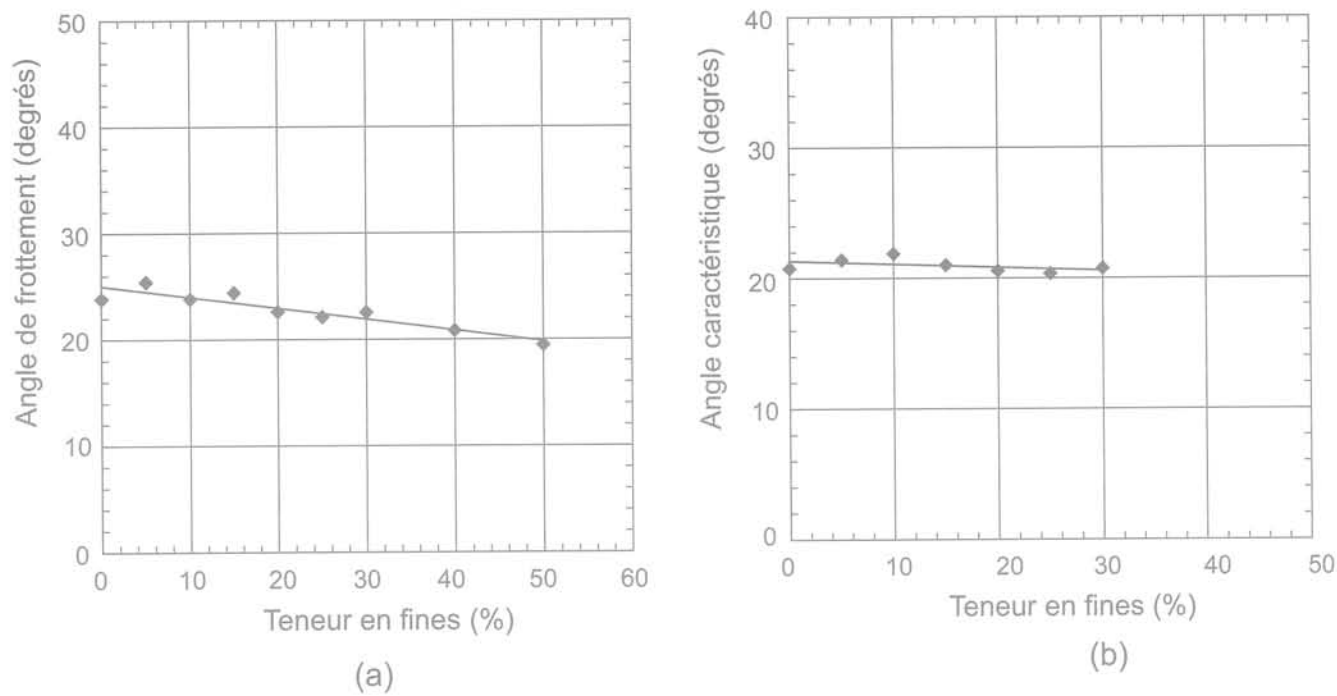


FIG. 9 **Influence de la fraction des fines sur l'angle de frottement et l'angle caractéristique.**
Influence of the fines fraction on the frictional and characteristic angles.

4

## 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 qui ont été réalisés à un indice de densité $I_d$ = 50 % 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 24 degrés à 20 degrés quand la fraction de fines croît de 0 à 50 %), mais affecte peu l'angle caractéristique. 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 de 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.

## Bibliographie


Amini F., Qi G.Z. – Liquefaction testing of layered silty sands. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 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* 8, n° 1, 2004, p. 1-5.

Finn W.L., Ledbetter R.H., Wu G. – Liquefaction on silty soils : Design and analysis. *Ground failures under seismic condition*. Geotechnical special publication n° 44, ASCE, 1994, p. 51-76.

Kenny T.C. – Residuel strength of mineral mixtures. *Proc. 9th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng.* Tokyo, vol. 1, 1977, p. 155-160.

Koester J.P. – The influence of fine type and content on cyclic strength. *Ground failures under seismic condition*. Geotechnical special publication n° 44, ASCE, 1994, p. 17-33.

Law K.T., Ling Y.H. – Liquefaction of granular soils with non-cohesive and cohesive fines. *Proc. of the 10th World Conference on Earthquake Engineering*, Rotterdam, 1992, p. 1491-1496.

Mitchell J.K. – *Fundamental of soil behaviour*. John Wiley Interscience, New York, 1993, 2nd ed.

Shen C.K., Vrymoed J.L., Uyeno C.K. – The effects of fines on liquefaction of sands. *Proc. 9th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng*, Tokyo, vol. 2, 1977, p. 381-385.

Thevanayagam S. – Effect of fines and confining stress on undrained shear strength of silty sands. *J. Geotech. Geoenviron. Eng. Div.*, ASCE, 124, n° 6, 1998, p. 479-491.

Troncosco J.H., Verdugo R. – Silt content and dynamic behaviour of tailing sands. *Proc. 12th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng.*, San Francisco, 1985, p. 1311-1314.

Vaid V.P. – Liquefaction of silty soils. *Ground failures under seismic condition*. Geotechnical Special publication n° 44, ASCE, 1994, p. 1-16.

Zlatovic S., Ishihara K. – Normalized behaviour of very loose non-plastic soils : Effects of fabric. *Soils and Foundations*, vol. 37, n° 4, 1997, p. 47-56.