



**HAL**  
open science

## Effet des fines sur les paramètres mécaniques consolidés non drainés de matériaux granulaires

Ndriamihaja Livah Andrianatrehina, Hanene Souli, Jean-Jacques Fry, Jean-Marie Fleureau, Joël Rech

► **To cite this version:**

Ndriamihaja Livah Andrianatrehina, Hanene Souli, Jean-Jacques Fry, Jean-Marie Fleureau, Joël Rech. Effet des fines sur les paramètres mécaniques consolidés non drainés de matériaux granulaires. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03446433

**HAL Id: hal-03446433**

**<https://hal.science/hal-03446433>**

Submitted on 24 Nov 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Effet des fines sur les paramètres mécaniques consolidés non drainés de matériaux granulaires

Ndriamihaja Livah ANDRIANATREHINA<sup>a</sup>, Hanène SOULI<sup>a</sup>, Jean-Jacques FRY<sup>b</sup>, Jean-Marie FLEUREAU<sup>c</sup>, Joël RECH<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, CNRS UMR 5513, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint Etienne, 58 rue Jean Parot, 42023 Saint Etienne Cedex - e-mail : milivah@yahoo.fr; hanene.souli@enise.fr

<sup>b</sup> Electricité de France, Centre d'Ingénierie Hydraulique, 73073 Le Bourget du Lac cedex – e-mail : jean-jacques.fry@edf.fr

<sup>c</sup> Laboratoire de mécanique des Sols, Structures et Matériaux, CNRS UMR 8579, Ecole Centrale Paris, Grande voie des vignes, 92295 Châtenay-Malabry, France – e-mail : jean-marie.fleureau@ecp.fr

## Résumé :

*Les résultats d'essais consolidés non drainés effectués sur des matériaux granulaires à granulométries discontinues sont présentés dans ce travail. Les matériaux sont obtenus en mélangeant du sable (0.1 à 0.315 mm) et du gravier (2 à 16 mm). Les matériaux sont préparés avec des taux de fine de 5, 10, 20, 30, 50 et 70%. Les essais sont faits à une contrainte de confinement effective de 100 kPa et à une densité relative de 50%. Les résultats montrent que la contrainte à la rupture diminue au fur et à mesure que le taux de fine augmente. La valeur du déviateur de contrainte à l'état caractéristique et l'amplitude de la phase contractante diminuent jusqu'à une valeur de fine seuil après laquelle ces paramètres augmentent.*

## Abstract : (16 gras)

*In this work, the results of undrained triaxial tests realized on gap-graded materials are presented. The materials are obtained by adding sand (0.1 to 0.315 mm) to gravel (2-16 mm) at fractions of 5, 10, 20, 30, 50, 70 %. The tests are realized under a confining stress equal to 100 kPa and compacted under initial relative density equal to 50%.*

*The results show that the stress deviator values decrease when the fine content values increase. The stress deviator values at the characteristic state and the pore water pressure decrease when the fine content increase up to a value of fine content after which this parameter increase.*

**Mots clés:** matériaux granulaires, pourcentage des fines, paramètres mécaniques.

## 1 Introduction

L'étude du comportement des matériaux granulaires utilisés dans les barrages dépend de plusieurs paramètres comme la valeur de la densité, la valeur de contrainte de confinement et de la granularité des grains. L'effet de la densité sur le comportement des matériaux granulaires est décrit dans plusieurs travaux [1, 2]. La figure 1 résume les principaux types de comportement du sable dans le cas d'essais consolidés non drainés. En effet, pour les faibles densités (courbe a), les matériaux montrent sur le plan déviateur de contrainte- déformation  $[q, \epsilon]$  par un pic suivi d'une diminution et une stabilisation. Dans le plan pression interstitielle- déformation  $[u, \epsilon]$ , le matériau présente seulement une phase contractante. Ces courbes montrent que le matériau s'est liquéfié.

Pour des densités relatives moyennes (courbe b), une augmentation continue du déviateur de contrainte vers les fortes valeurs de déformation est observée dans le plan  $[q, \varepsilon]$ . Dans le plan  $[u, \varepsilon]$ , la pression interstitielle augmente, atteint un pic large puis diminue mais sans atteindre la dilatance. On parle de liquéfaction limitée.

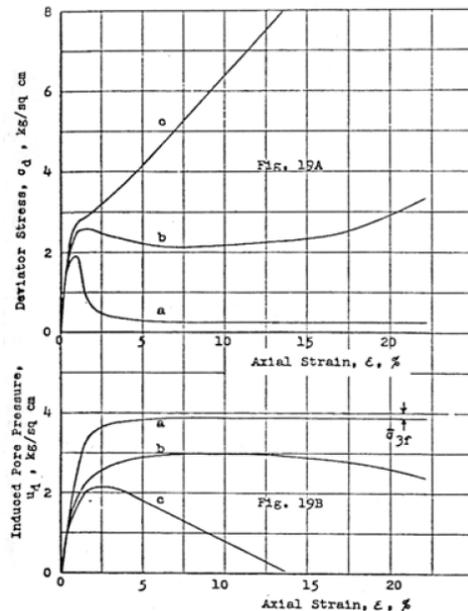


Fig. 1 Comportement du sable dans le cas d'essais consolidés non drainés [1].

Quand les matériaux sont fortement compactés, une augmentation considérable du déviateur de contrainte est observée dans le plan  $[q, \varepsilon]$ . Sur le plan  $[u, \varepsilon]$ , une phase contractante suivie d'une phase dilatante sont observées. Ce comportement est propre à un matériau non liquéfié.

En plus du déviateur de contrainte à l'état critique et de l'amplitude de la phase contractive, le déviateur de contrainte à l'état caractéristique est souvent étudié. Ce paramètre est défini comme le déviateur de contrainte correspondant au maximum de la phase contractive dans le plan  $[u, \varepsilon]$  comme le montre la figure 2.

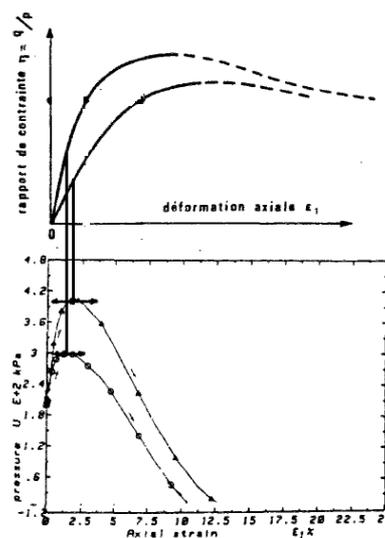


Fig. 2 Détermination du point caractéristique (essai consolidé non drainé)

Le but de ce travail est de montrer l'effet des fines sur les paramètres mécaniques de matériaux granulaires lors d'essais triaxiaux consolidés non drainés.

## 2 Matériaux et méthodes

### 2.1 Présentation des matériaux

Les matériaux sont préparés en mélangeant deux fractions de matériaux. La première fraction est un sable dont la taille de grains varie de (0.1 à 0.315 mm). La seconde est un gravier dont la granulométrie est comprise entre 2 et 16 mm. Les pourcentages de la fraction fine, le sable, sont égaux à 5, 10, 20, 30, 50 et 70%. La figure 3 présente les courbes granulométriques des matériaux étudiés.

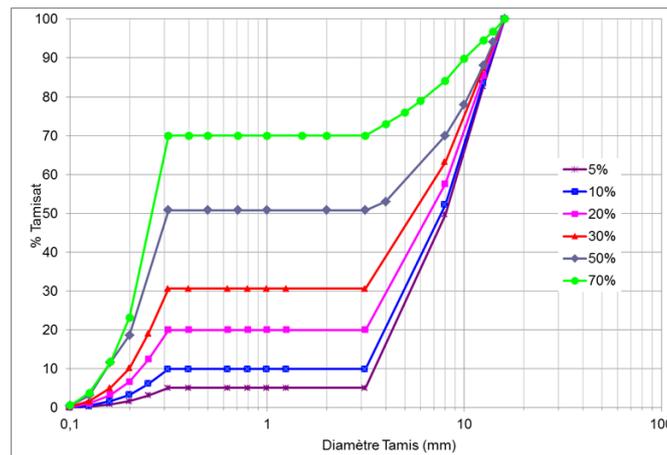


Fig. 3 Courbes granulométriques des matériaux étudiés

Les valeurs de coefficient d'uniformité sont regroupées dans le tableau 1.

Nom	Pourcentage des fines (%)	Coefficient d'uniformité $C_u$
Mat_5%	5	2.6
Mat_10%	10	2.9 - 29
Mat_20%	20	35.7
Mat_30%	30	35.5
Mat_50%	50	25
Mat_70%	70	1.81

Tab. 1 Propriétés des matériaux étudiés

Les matériaux Mat\_5% et Mat\_70% présentent des granulométries serrées, les matériaux Mat\_20%, Mat\_30% et Mat\_50% présentent des granulométries étalées. La valeur du coefficient d'uniformité du matériau Mat\_10% est difficile à déterminer vue que le  $d_{10}$  correspond au plateau.

### 2.2 Méthodes expérimentales

Pour pouvoir compacter les échantillons à la densité relative voulue, les valeurs des indices des vides minimum et maximum ont été déterminées en utilisant les procédures normalisées [3,4].

Pour les essais triaxiaux, les matériaux ont été mélangés à l'eau à des teneurs en eau variant de 0 à 4%. Les échantillons fabriqués ont une hauteur de 17.5 cm et un diamètre de 10 cm.

L'essai se déroule selon les étapes suivantes :

**1/ Phase de stabilisation** : Une valeur de pression de confinement initiale égale à  $\sigma_3 = 35$  kPa est imposée. La valeur de la pression interstitielle initiale est égale à  $u = 15$  kPa. Le but de cette première étape est de stabiliser le matériau.

**2/ Phase de saturation**: une rampe de saturation est imposée. Cette rampe consiste à augmenter progressivement la pression de confinement à 600 kPa et la pression interstitielle à 580 kPa. Le but de cette phase est de saturer le matériau et d'éliminer les bulles d'air.

Après la phase de saturation, la pression de confinement est augmentée à 650 kPa et la variation de la pression interstitielle engendrée est mesurée. L'échantillon est saturé si le coefficient de Skempton B ( $= \Delta u / \Delta \sigma_3$ ) est supérieur à 0,95.

**3/ Phase de consolidation**: L'échantillon est consolidé sous une contrainte effective de 100 kPa.

**4/ Phase d'écrasement**: Après la consolidation, le matériau est écrasé dans des conditions non drainés jusqu'à une contrainte de déformation de 25 %.

Après les essais, les matériaux sont démoulés et pesés à fin de calculer leurs indices des vides.

### 3 Résultats expérimentaux

#### 3.1 Effet du pourcentage des fines

**Evolution des paramètres mécaniques** : La figure 4a montre la variation du déviateur de contrainte à l'état critique et celle du déviateur de contrainte à l'état caractéristique en fonction du pourcentage des fines.

Les résultats montrent que le déviateur de contrainte à l'état critique diminue au fur et à mesure que le taux de fines augmente. Par contre, le déviateur de contrainte à l'état caractéristique diminue jusqu'à une teneur en fine de 30%, puis ré-augmente. Cependant, le déviateur de contrainte à l'état caractéristique est constant pour les matériaux Mat\_50% et Mat\_70%.

La figure 4b présente la variation de l'amplitude de la phase contractive des matériaux en fonction du taux de fines. Les résultats montrent une diminution de ce paramètre jusqu'à la teneur en fine de 30%, après laquelle l'amplitude de la phase contractive augmente.

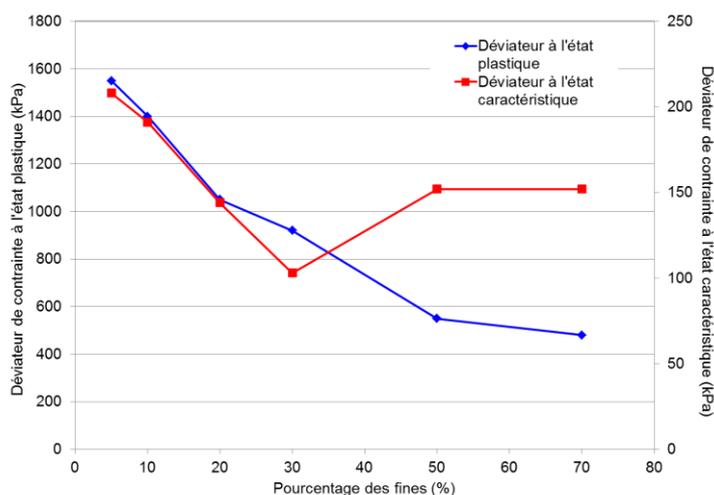


Fig. 4a Evolution du déviateur de contrainte à l'état critique et à l'état caractéristique en fonction du pourcentage des fines

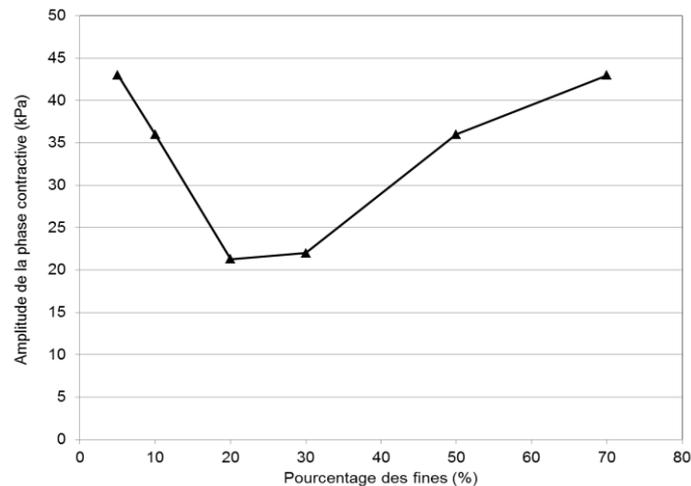


Fig. 4b Evolution de l'amplitude de la phase contractive en fonction du pourcentage des fines

**Evolution des indices des vides :** La variation des indices des vides maximum et minimum et la variation de l'indice des vides après l'essai sont présentés sur la figure 5.

Les résultats montrent que les indices des vides minimum et maximum diminuent jusqu'à une valeur du taux de fines de 30 %. Après cette teneur en fines, ces indices des vides ré-augmentent.

L'indice des vides global suit le même comportement. En effet, une diminution est observée jusqu'à une teneur en fines de 30 % suivie d'une augmentation.

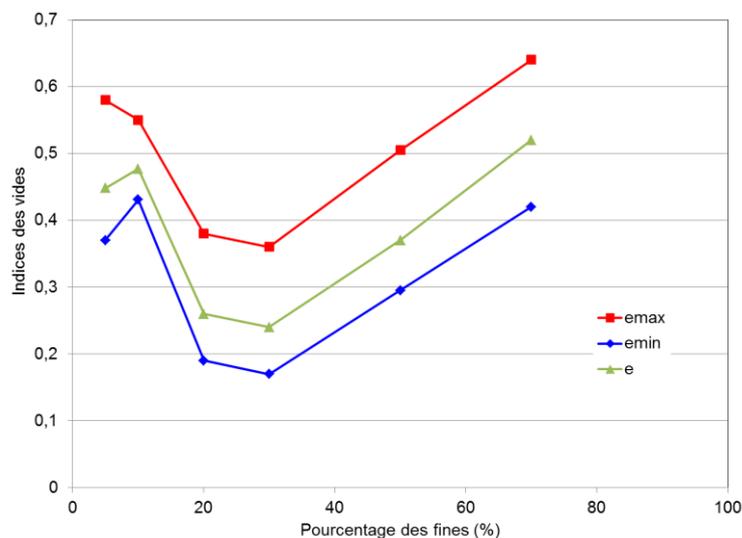


Fig. 5 Variation des indices des vides ( $e_{min}$ ,  $e_{max}$  et  $e$ ) en fonction de la teneur en fines

## 4 Interprétation des résultats

\* Les résultats montrent que les indices des vides minimum et maximum diminuent au fur et à mesure que la teneur en fine augmente jusqu'à une valeur de 30 %. Cette diminution est due au fait que quand le matériau est formé seulement par la fraction grossière, l'espace entre les grains est élevé. Au fur et à mesure que le pourcentage des fines augmente, l'espace entre les gros grains se réduit. Un changement du comportement est observé à partir de 30 % de fines. Ce changement est due au fait que quand le

taux de fines augmente, les vides sont totalement remplis par les fines. A partir de cette valeur, le comportement est totalement décrit par les fines [5].

Il existe une valeur seuil pour chaque matériau qui correspond au remplissage total des vides par les fines. Une formule qui permet de calculer la teneur en fine de transition a été présentée par [6].

$$TFC = \frac{e_{max,s} G_f}{G_f e_{max,s} + G_s (1 + e_{max,f})}$$

$e_{max,s}$  et  $e_{max,f}$  étant les indices des vides maximum de la fraction grossier et de la fraction fine respectivement.  $G_s$  et  $G_f$  représentent la densité des grains grossiers et des grains fins respectivement. Selon cette formule, le pourcentage de transition est égal à 27 %, ce qui est en bon accord avec les résultats expérimentaux.

\* Les valeurs du déviateur de contrainte à l'état critique diminuent quand le taux de fines augmente. Ceci est dû au fait que quand le taux de fines augmente tout en restant inférieur à 30 %, les fines s'insèrent entre les gros grains et contribuent ainsi à la diminution des frottements entre les gros grains et ainsi à la diminution du déviateur de contrainte.

Pour les taux de fines supérieurs à 30 %, la diminution du déviateur de contrainte à l'état critique est due au fait que quand le matériau est dominé par la fraction fine, les frottements entre les grains diminuent, ce qui diminue les valeurs du déviateur de contrainte [7].

\* Le déviateur de contrainte à l'état caractéristique et la pression interstitielle présentent presque la même variation. La diminution observée avant le pourcentage de fines égal à 30 % est due à la diminution progressive de la porosité avec l'augmentation du taux de fines. Pour un pourcentage des fines supérieur à 30 %, le déviateur de contrainte à l'état caractéristique et la pression interstitielle augmentent ceci est due aux forts pourcentages des fines dans les matériaux.

## 5 Conclusions

Le pourcentage des fines influence fortement le comportement d'un mélange de gravier ( $2 < \phi < 16$  mm) et de sable ( $0.1 < \phi < 0.315$  mm). Quand le taux de fines est inférieur à un pourcentage de transition, le comportement est dominé par les gros grains. Au-delà de ce pourcentage de transition le comportement du sol est plutôt dominé par les éléments fins.

## Références

- [1] G. Castro, Liquefaction of sands, Thèse, Université Harvard Cambridge, 1969.
- [2] S. Thevanayagam, Effect of fines and confining stress on undrained shear strength of silty sands, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 124 (1998) 479-491.
- [3] ASTM D4253 - 00(2006), Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table, 2006.
- [4] ASTM D4254 - 00(2006), Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density, 2006.
- [5] H. K. Dash, T. G. Sitharam, Undrained monotonic response of sand-silt mixtures: effect of nonplastic fines, *Geomechanics and Geoengineering: An International Journal* 6 (2010) 47-58.
- [6] K. Hazirbaba, Pore Pressure Generation Characteristics of Sands and Silty Sands: A Strain Approach, Thèse, Université Texas Austin, Austin 2005.
- [7] A. Hamidi, E. Azini, B. Masoudi, Impact of gradation on the shear strength-dilation behavior of well graded sand-gravel mixtures, *Scientia Iranica A*, 19 (2012), 393-402.