

# Modules triaxiaux en petites et très petites déformations

Rôle de la teneur en eau, de  $I_p$ , du % de fines

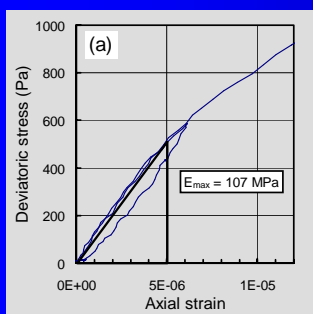
J.M. Fleureau  
 Laboratoire de Mécanique  
 Ecole Centrale Paris & CNRS  
 Châtenay-Malabry, France



Journée du 16 Décembre 2005  
 CFMS

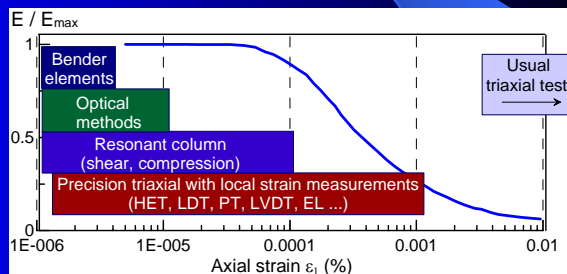


## Pourquoi mesurer de très faibles déformations ?



Domaine élastique :  
 $\epsilon < 5 \cdot 10^{-5}$

Déformations en service  $< 10^{-3}$   
 Routes, chemins de fer, remblais :  $\epsilon < 10^{-4}$



Journée du 16 Décembre 2005  
 CFMS

## Plan

- Dispositifs expérimentaux de mesure des très petites déformations et des pressions capillaires
- Influence de la teneur en eau
- Influence de l'indice de plasticité et du pourcentage de fines
- Dégradation du module avec  $\varepsilon_1$

Sources : thèses S. Hadiwardoyo (2002), O. Coronado (2005)  
Collaborations Portugal, Indonésie, Colombie

Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Dispositifs expérimentaux utilisés

Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Mesure des propriétés dynamiques des sols et matériaux granulaires à l'IST-Lisbonne

Appareil triaxial de précision LPC pour matériaux routiers ( $\Phi$  160 mm)



Colonne résonante

Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Mesure des modules des sols et matériaux granulaires à l'École Centrale Paris



Local Deformation Transducers



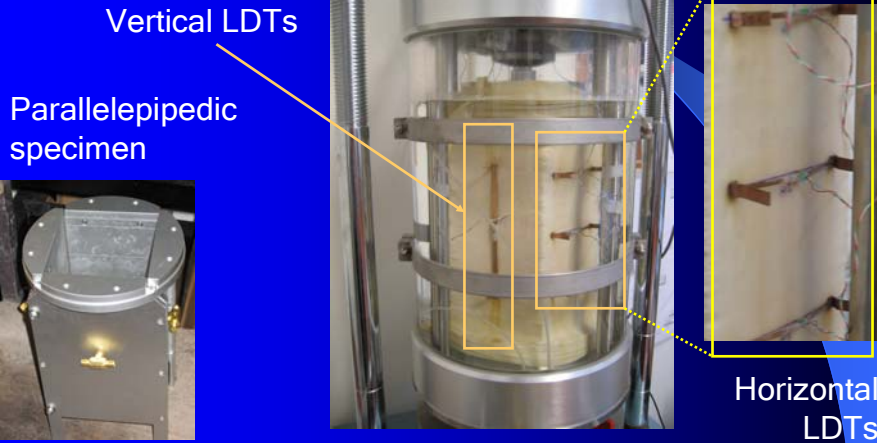
Hall effect transducers



Bender elements

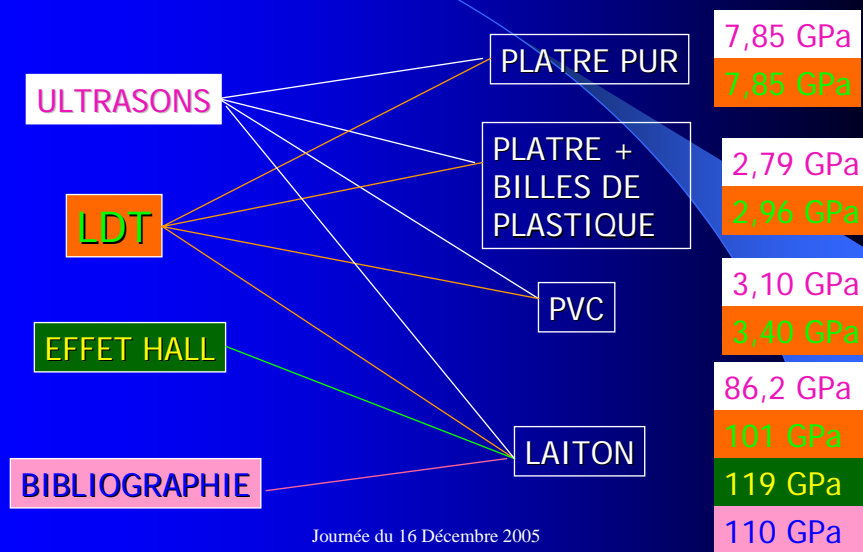
Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Mesure des propriétés des sols en petites déformations à l'Université de Minho



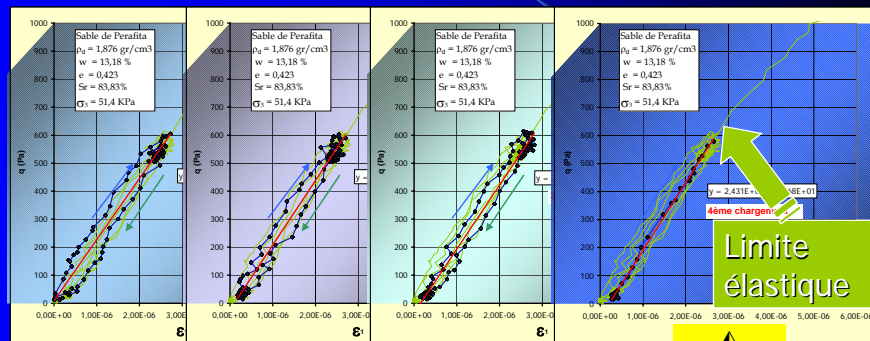
Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Comparaison des mesures de déformation au moyen des différents dispositifs



Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Résultats obtenus au triaxial sur le sable de Perafita en très petites déformations



Petits cycles de chargement-déchargement dans le domaine élastique  $\varepsilon_1 < 3.10^{-6}$

Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Mesure de la pression capillaire dans les sols non saturés à l'Ecole Centrale Paris



Montage tensio-métrique ou à surpression d'air



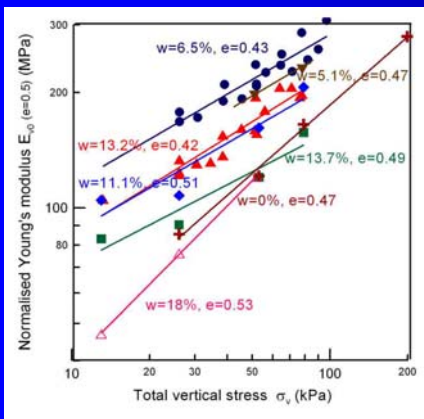
Psychromètre

Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

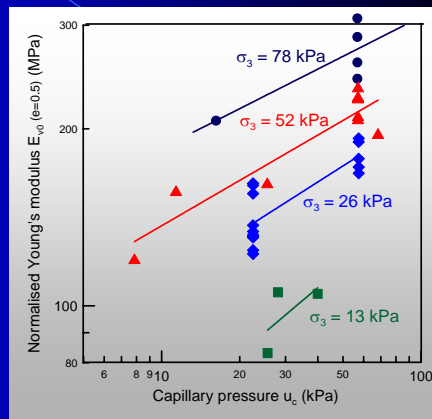
# Influence de la teneur en eau

Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Influence de la teneur en eau sur le module à $10^{-5}$ du sable de Perafita (Portugal)



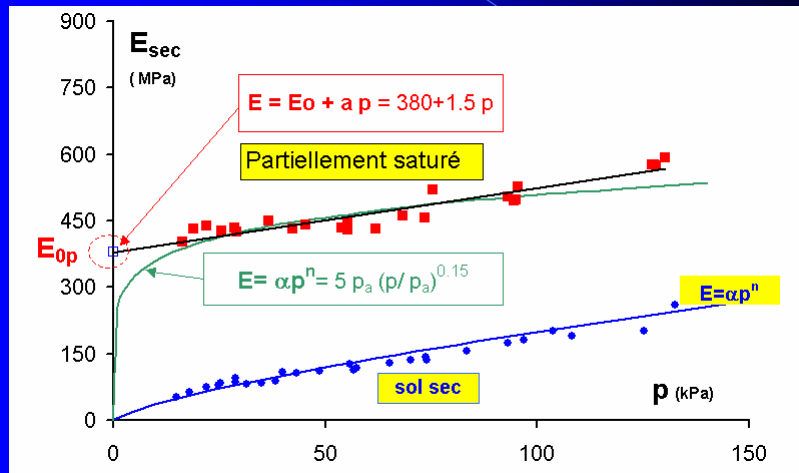
$E_{v0}(\sigma_1)$



$E_{v0}(u_c)$

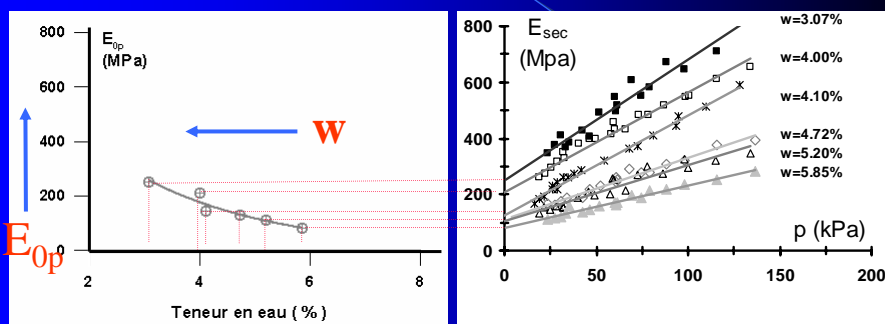
Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Rôle de la teneur en eau sur le module des granulats (Colombie)



Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Rôle de la teneur en eau pourcentage de fines de 10%, $I_p = \text{zéro}$

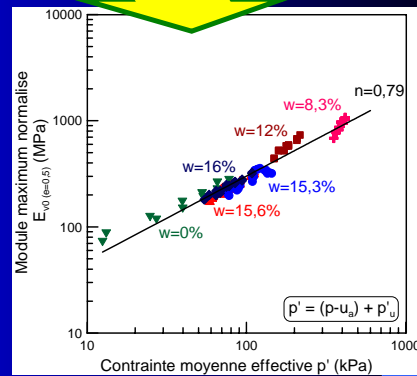
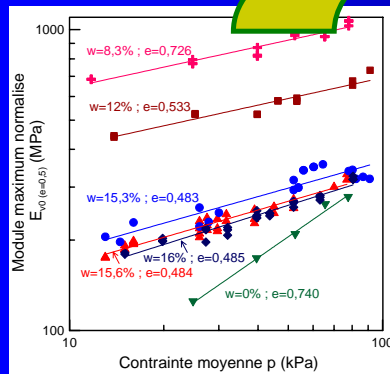


$E_{0p}$  et la pente  $E(p)$  augmentent  
si  $w$  décroît

Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Interprétation en contraintes effectives des essais sur le sable de Serpong

$$p' = p + S_r \cdot u_c$$



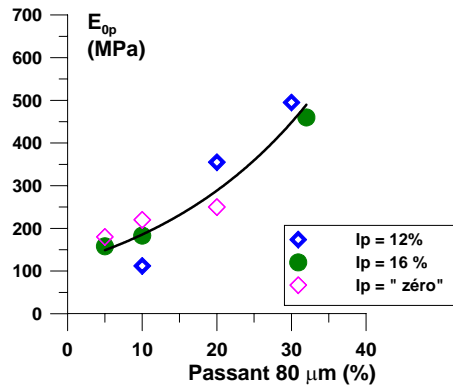
Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Influence de l'indice de plasticité et du pourcentage de fines

Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS



## Rôle du pourcentage de fines < 80 $\mu\text{m}$

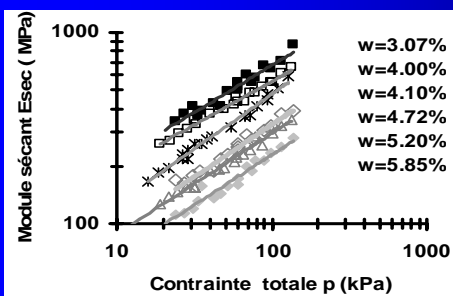


$E_{op}$  croît avec le % de fines (à  $w \approx \text{cte}$ )

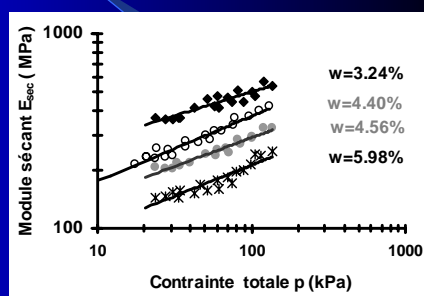
Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Rôle de l'indice de plasticité pourcentage de fines de 10%

$I_p = \text{« zéro »}$



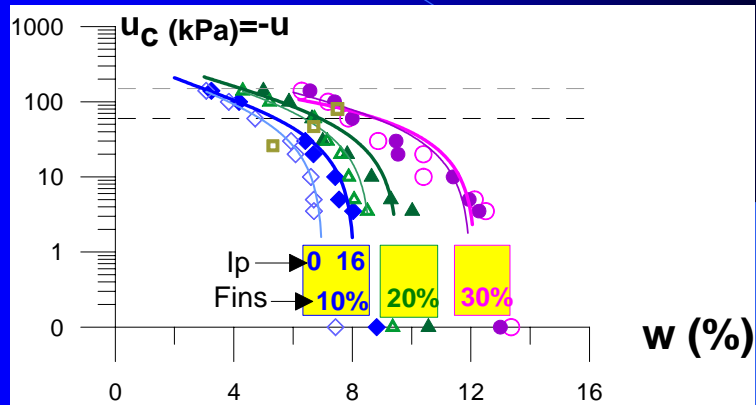
$I_p = 16\%$



$E_{op}$  croît et la pente décroît  
lorsque  $I_p$  croît

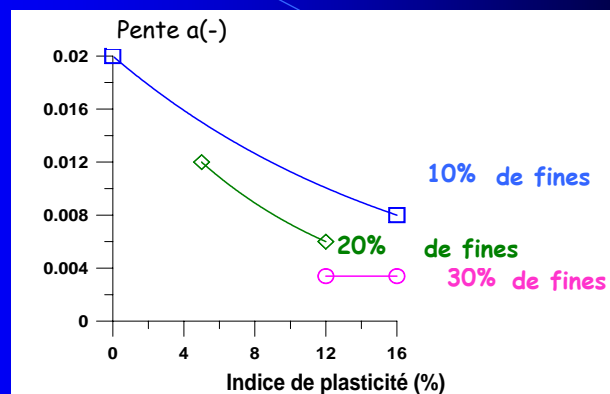
Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Effet de IP sur la succion



Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

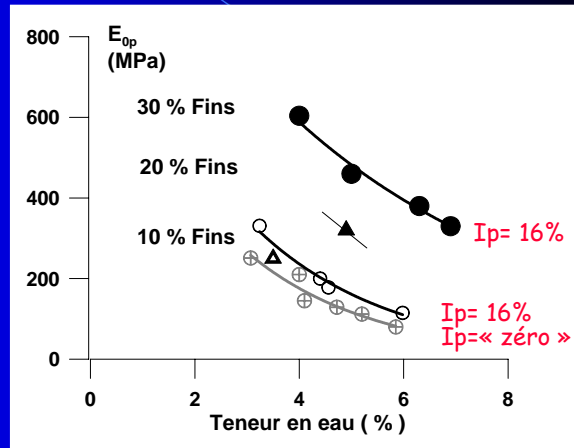
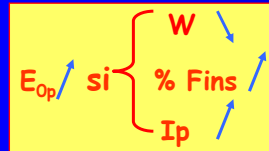
## Effet de $I_p$ sur la pente des droites $E_0(p)$



La pente décroît si  $I_p$  croît pour de faibles % de fines  
mais elle devient presque constante pour 30% de fines

Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Effet de $w$ , du % de fines et de $I_p$ sur $E_{op}$

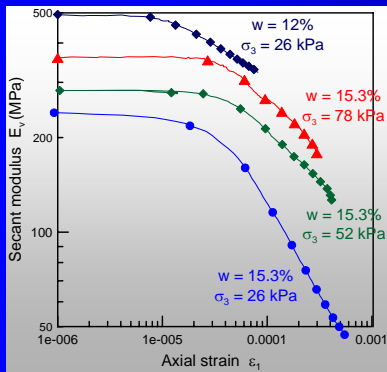


Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

Comparaison des courbes de dégradation  
du module sécant avec  $\varepsilon_1$  dans les sables  
et les graves

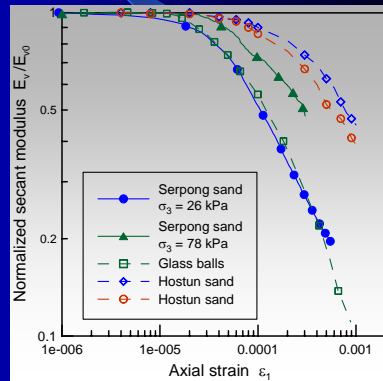
Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Dégradation du module du sable de Serpong avec $\varepsilon_1$



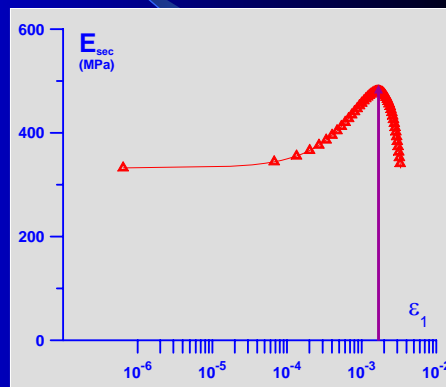
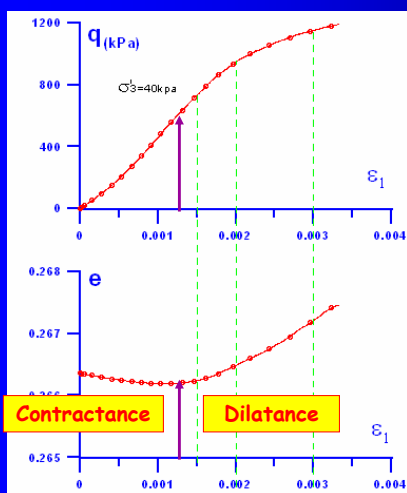
Dégradation du module sécant avec  $\varepsilon_1$

Comparaison avec d'autres « sables »



Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Changement de courbure de la courbe $q(\varepsilon_1)$ pour les matériaux granulaires



Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS

## Conclusion

- Rôle très important de la déformation
- Rôle très important de la teneur en eau (ou de la succion) : relation  $E_0 = E_{0p} + a p$
- $E_{0p}$  augmente avec le % de fines et  $I_p$
- La pente des droites  $E_0(p)$  décroît si  $I_p$  croît aux faibles % de fines, devient cte ensuite
- Dans les graves : la dégradation du module avec  $\varepsilon_1$  dépend de la dilatance du matériau

Journée du 16 Décembre 2005  
CFMS