

Journée hommage au Professeur Jean Biarez

« Du Grain à l'Ouvrage »

mercredi 12 mars 2008

Analyse des modèles « Biarez-Favre » et « Burland » pour la compressibilité uniaxiale des argiles reconstituées

« Analysis of the 'Biarez-Favre' and 'Burland' Models for the compressibility of the remoulded clays »
J. L. Favre & M. Hattab, 2008. *C.R. Geoscience* 340 (1) : 20-27

Mahdia Hattab^a & Jean-Louis Favre^b

^aLaboratoire de Physique et Mécanique des Matériaux (Université Paul Verlaine)-CNRS-7554

^bLaboratoire de Mécanique des Sols-Structures et Matériaux (École Centrale Paris)-CNRS-8579



mssmat



Objectif de l'étude

Comportement remanié \Rightarrow propriétés intrinsèques au matériau et repère pour l'évolution du comportement des sols intacts

Deux approches pour décrire la compressibilité uniaxiale des argiles remaniées reconstituées



Biarez-Favre (1975-1977)

$(I_L - \sigma'_v : w_L, w_P)$



Burland (1990)

$(I_v - \sigma'_v : e^*_{100}, e^*_{1000})$

Étude comparative au vue de deux courbes expérimentales :
Kaolinite P300 & Argile GoG

Approche Biarez-Favre

Nature des
grains
(MD)

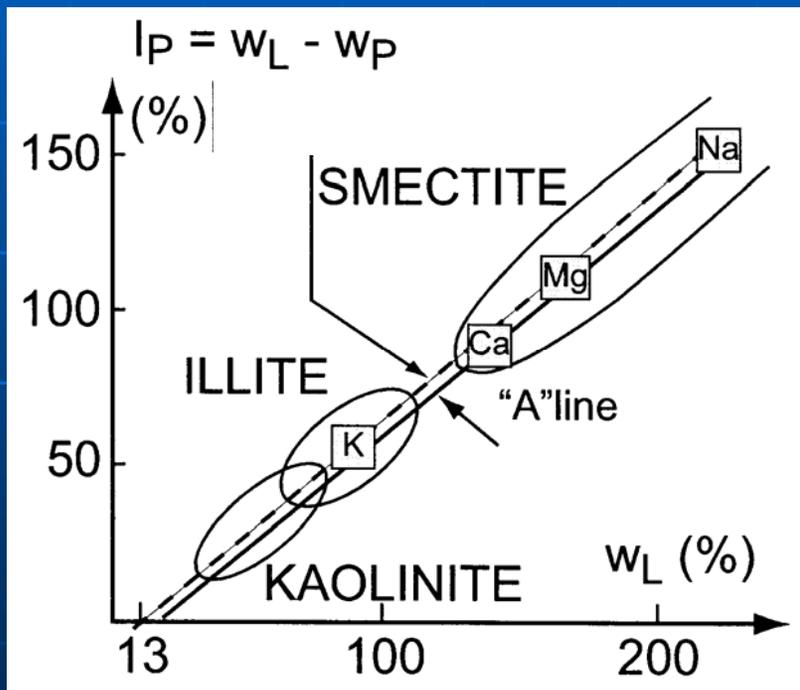
+

Arrangement et
confinement des grains
(MD)

⇒

Propriétés
mécaniques du
sol (MC)

$$I_P = 0,73(w_L - 13)$$



Comportement de
référence des argiles
remaniées normalement
consolidées

Nature minéralogique de l'argile

Approche Biarez-Favre

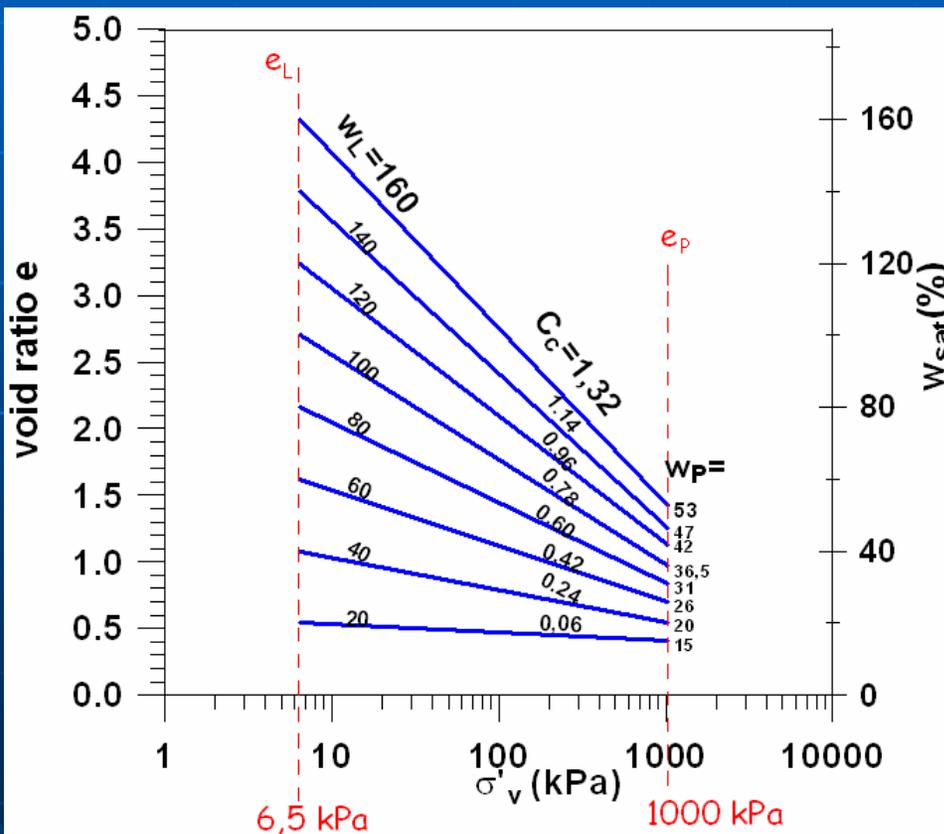
Nature des grains
(MD)

+

Arrangement et confinement des grains
(MD)

⇒

Propriétés mécaniques du sol
(MC)



$$I_P = 0,73(w_L - 13)$$

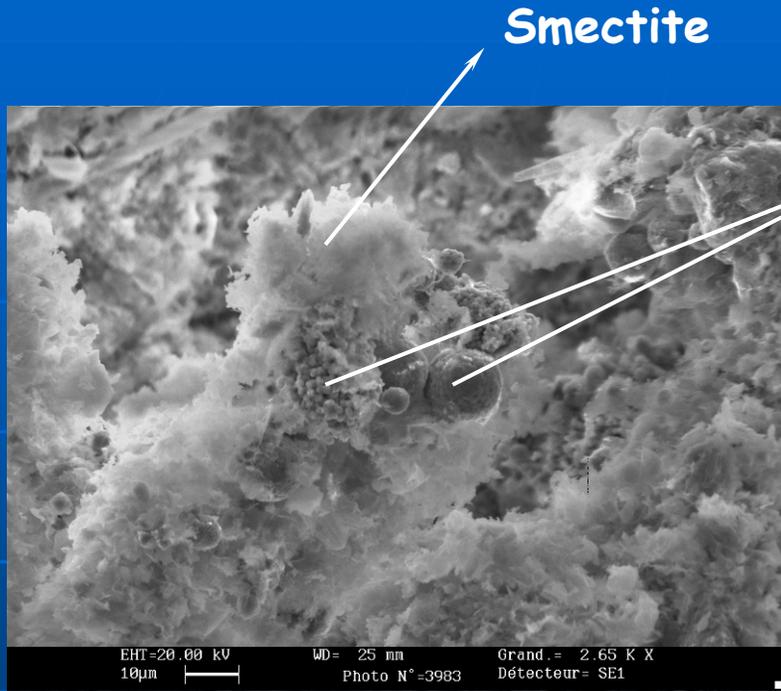
$$\begin{cases} w_{sat} = w_L & \text{pour } \sigma'_v \leq 6,5 \text{ kPa} \\ w_{sat} = w_P & \text{pour } \sigma'_v \geq 1 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$C_c = 0,009(w_L - 13)$$

avec $\frac{\gamma_s}{\gamma_w} = 2,7$

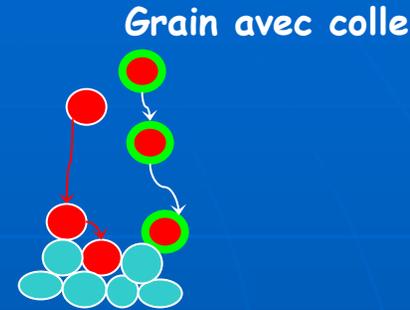
C_c : indice de compression
 $\sigma'_L = 0,46(3 - \log \sigma'_v)$

Approche Biarez-Favre



Sphéroïdes de pyrite framboïdale

Grain sans colle



Notion de « grain avec et sans colle » par Biarez (1998)

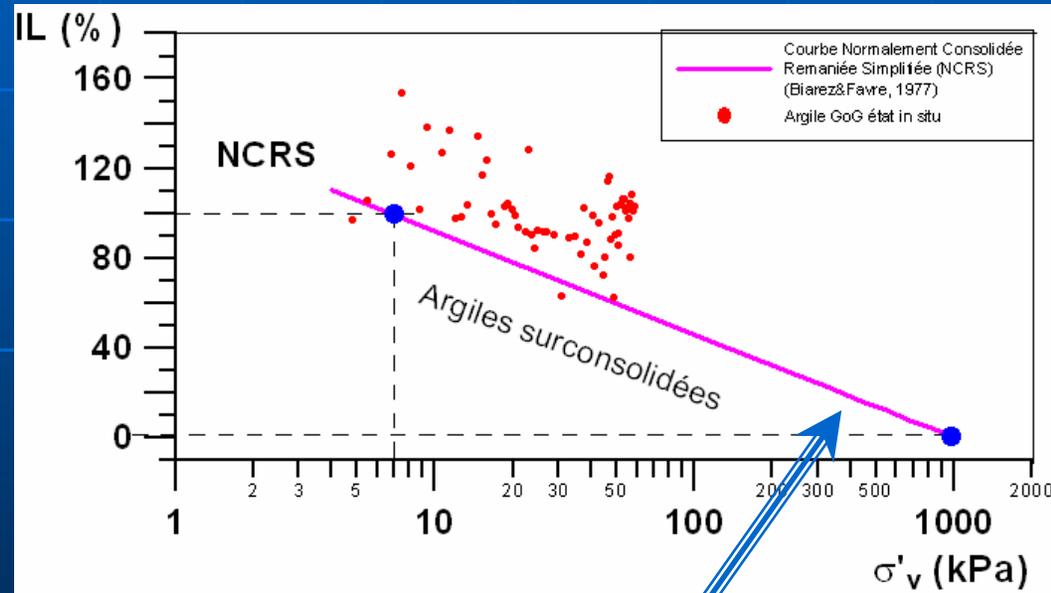
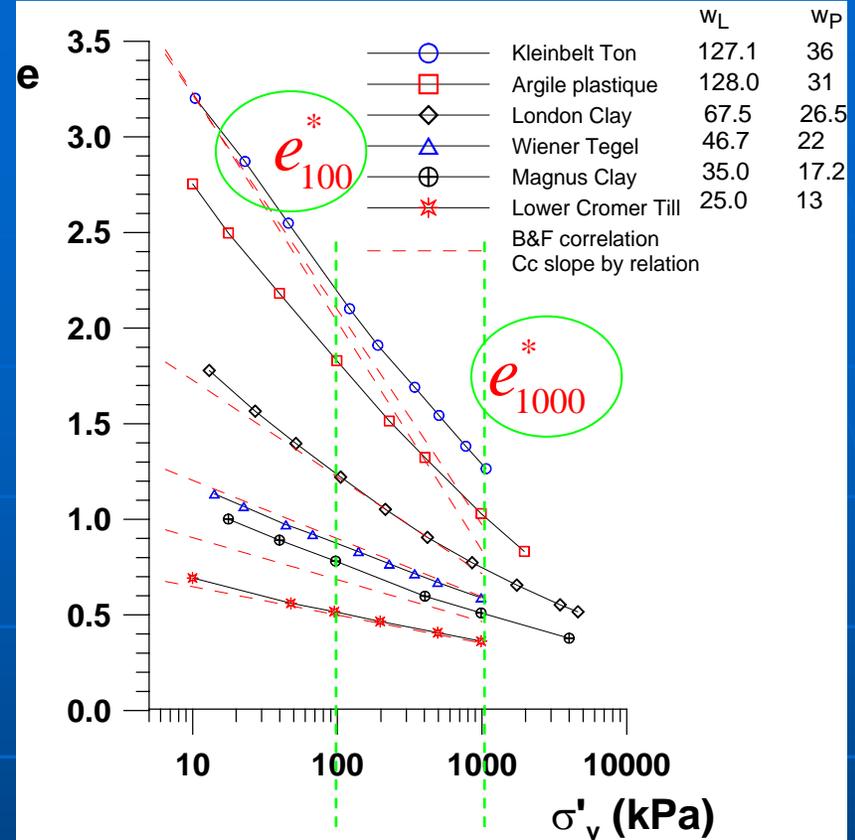
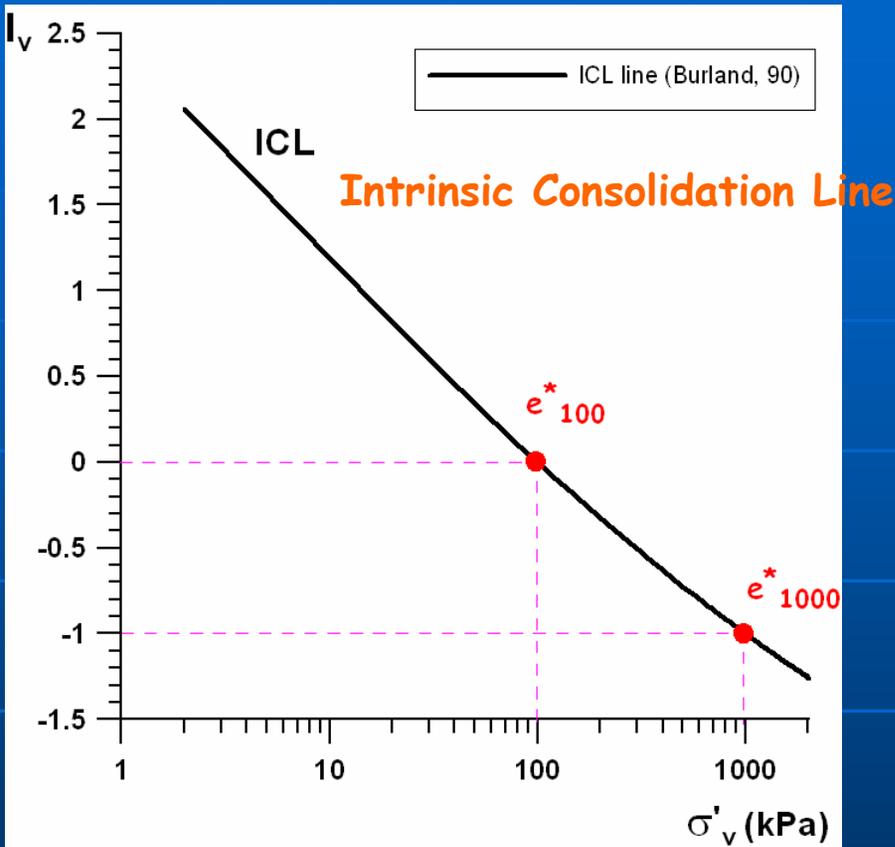


Photo MEB de l'argile GoG

Le matériau apparaît comme une argile avec des « grains » liés entre eux par une cimentation

$$I_L = 0,46(3 - \log \sigma'_v)$$

Approche Burland



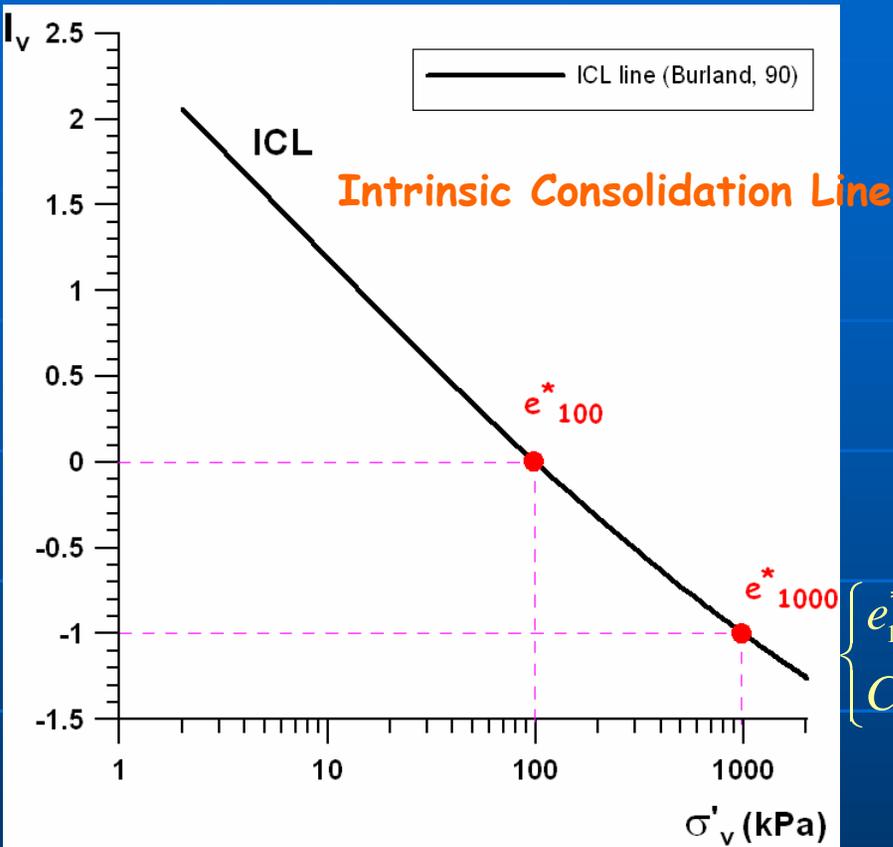
Indice des vides normalisé : $I_v = \frac{e - e^*_{100}}{C_c^*}$

e^*_{100} pour $\sigma'_v = 100$ kPa
 e^*_{1000} pour $\sigma'_v = 1000$ kPa
 C_c^* : indice de compression intrinsèque

$$I_v = 2,45 - 1,285 \log \sigma'_v + 0,015 (\log \sigma'_v)^3$$

$$C_c^* = e^*_{100} - e^*_{1000}$$

Approche Burland



Les paramètres e^*_{100} et C^*_c sont par ailleurs corrélés au seul paramètre de nature e_L

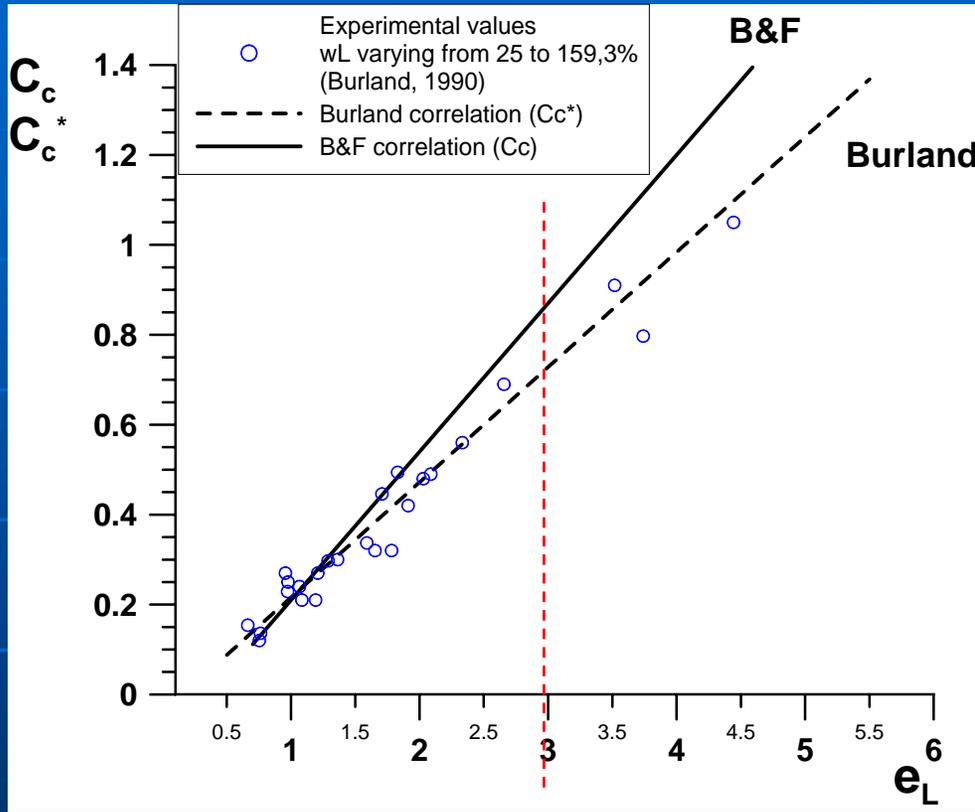


$$\begin{cases} e^*_{100} = 0,109 + 0,679 e_L - 0,089 e_L^2 + 0,016 e_L^3 \\ C^*_c = e^*_{100} - e^*_{1000} = 0,256 e_L - 0,04 \end{cases}$$

Indice des vides normalisé : $I_v = \frac{e - e^*_{100}}{C^*_c}$

$$I_v = 2,45 - 1,285 \log \sigma'_v + 0,015 (\log \sigma'_v)^3$$

Approche Burland



Biarez-Favre

$$C_c = 0,009(w_L - 13)$$

Burland

$$C_c^* = e_{100}^* - e_{1000}^* = 0,256 e_L - 0,04$$

Variation des indices C_c et C_c^* en fonction de e_L

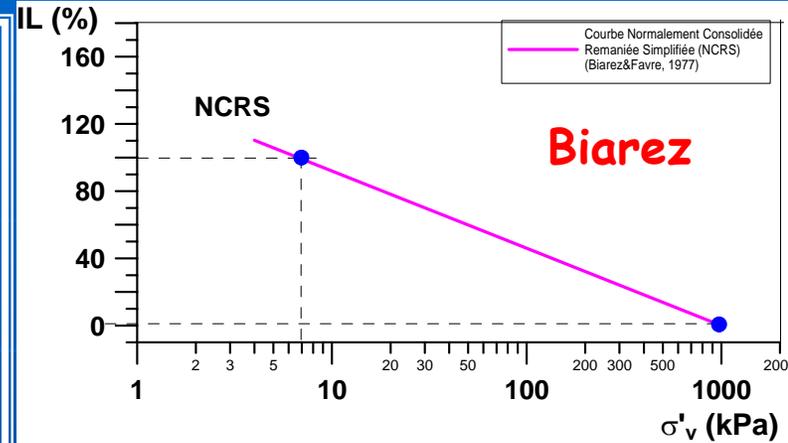
Comparaison des deux modèles

$$I_L = 0,46(3 - \log \sigma'_v)$$

NCRS : Biarez-Favre dans (I_V - $\log \sigma'_v$)

$$I_V = \begin{cases} 1,38 \frac{w_{sat} e_L}{w_{sat} e_P} - \frac{w_{e_P}}{100} \text{ pour } \sigma'_{cV} \leq 6,5 \text{ kPa} \\ \frac{w_{e_P}}{w_{sat} e_P} \text{ pour } \sigma'_{cV} > 6,5 \text{ kPa} \end{cases} - 0,46 \frac{e_L - e_P}{C_c^*} \log \sigma'_v$$

$$I_V = 2 - \log \sigma'_v$$



$$I_V = 2,45 - 1,285 \log \sigma'_v + 0,015 (\log \sigma'_v)^3$$

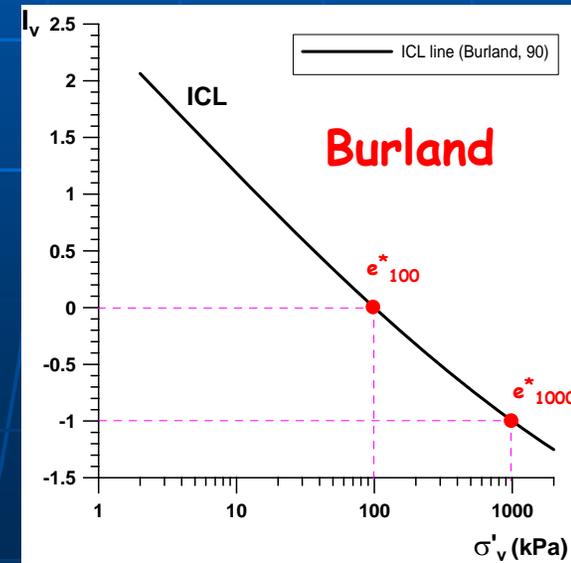
ICL : Burland dans (I_L - $\log \sigma'_v$)

$$I_L = \frac{1}{\zeta_{100}^*} \left[2,45 - 1,285 \log \sigma'_v + 0,015 (\log \sigma'_v)^3 + \chi \right]$$

$$\zeta_{100}^* = 0,109 + 0,679 e_L - 0,089 e_L^2 + 0,016 e_L^3$$

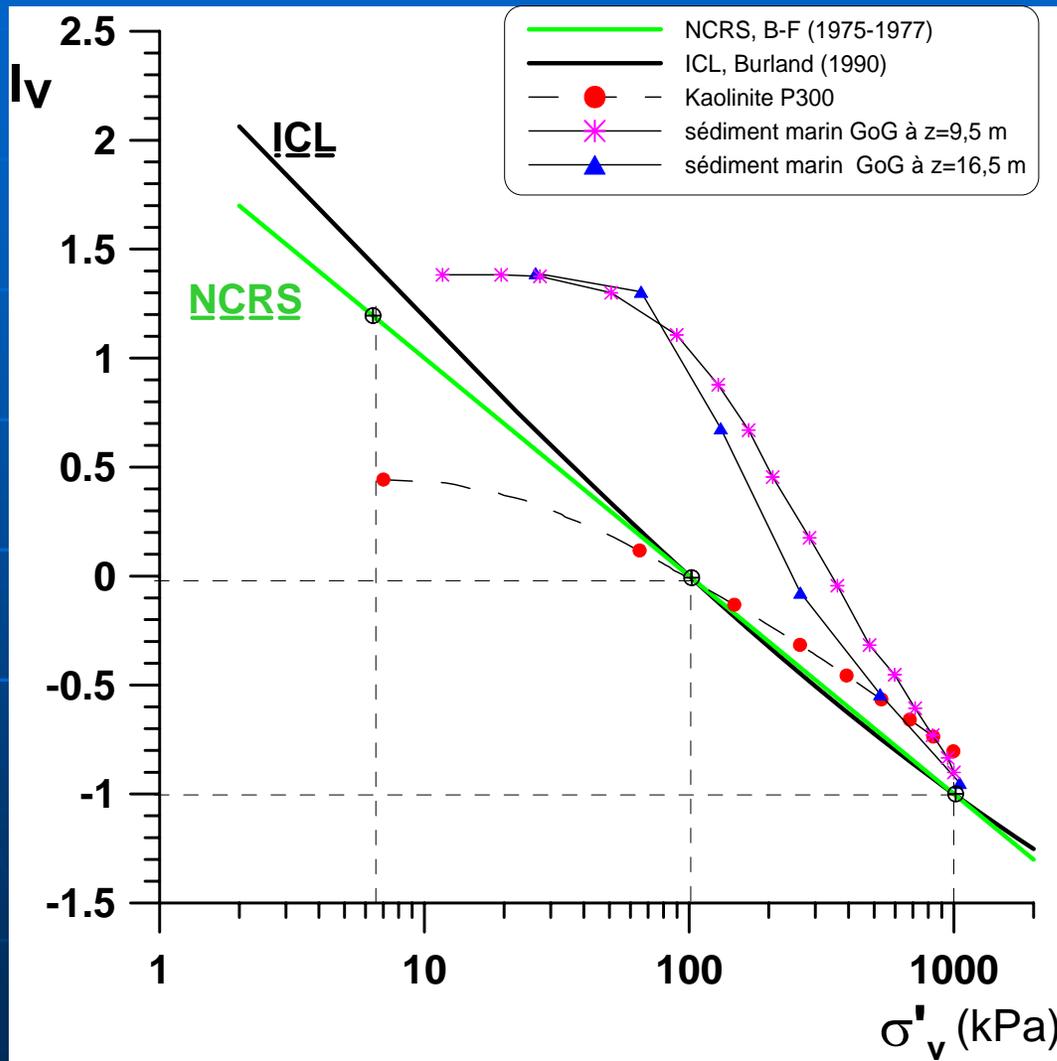
$$\zeta_c^* = \frac{e_{100}^* e_L - e_{1000}^*}{0,256 e_L - 0,04} = 0,256 e_L - 0,04$$

$$\chi = \frac{0,109 + 0,679 e_L - 0,089 e_L^2 + 0,016 e_L^3 - e_P}{0,256 e_L - 0,04}$$



Comparaison des deux modèles

Dans le plan de Burland
($I_v, \log \sigma'_v$)



L'hypothèse $e^*_{1000} = e_p$ impose à la NCRS d'avoir un point sur la ICL

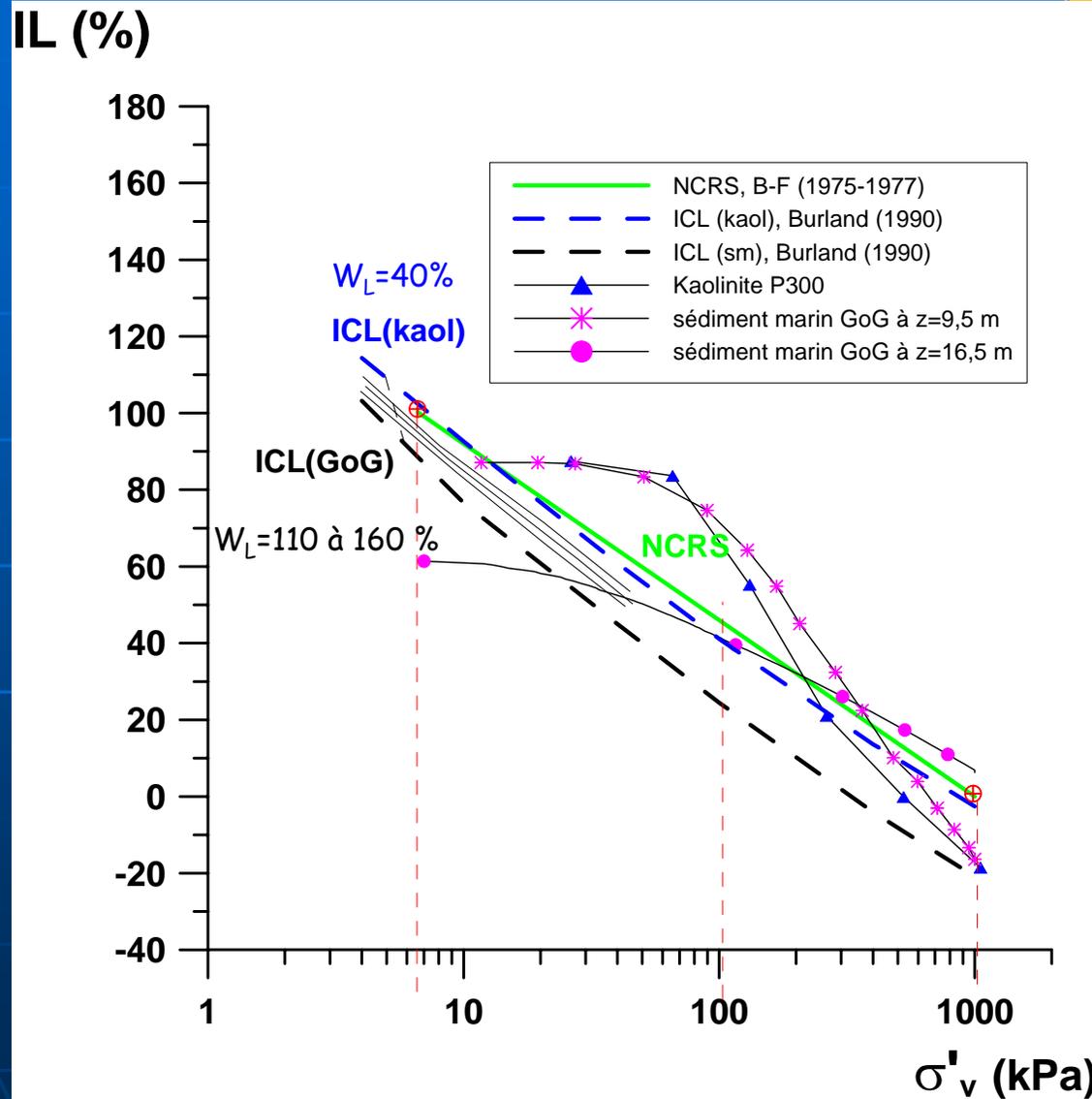
La NCRS et la ICL sont analogues et en accord avec les résultats expérimentaux

Kaolinite P300 ($W_L=40\%$) : consolidée en uniaxial + chemin oedométrique

Argile GoG ($W_L=110\%$ à 160%) : intacte + chemin oedométrique

Comparaison des deux modèles

Dans le plan de Biarez-Favre
($I_L, \log \sigma'_v$)

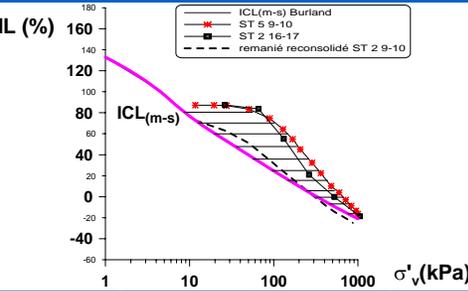


La ICL étant fonction de e_L
se traduit par un faisceau
de courbes

La ICL à la NCRS sont
analogues pour les faibles
valeurs de e_L et en accord
avec la kaolinite

La ICL diverge de la NCRS
pour les fortes valeurs de
 e_L , mais en accord avec
l'argile GoG après
déstructuration

Passage de l'état non remanié à l'état remanié

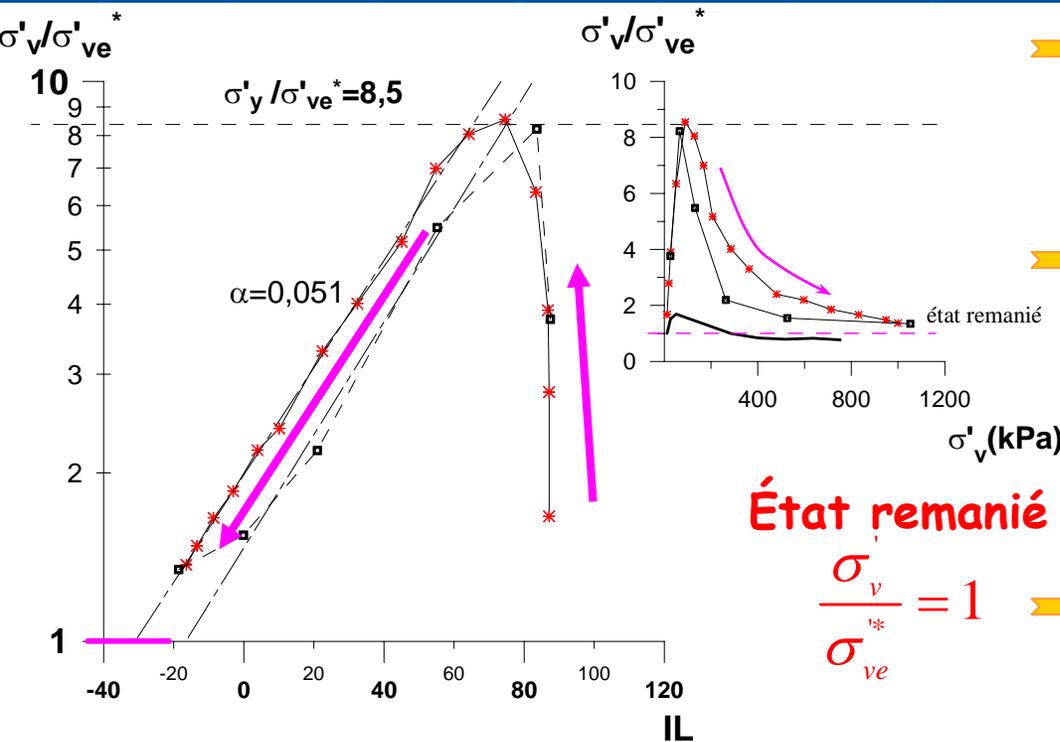


Évolution de la structure et dégradation progressive de la cimentation :

$$\left(\log \left(\frac{\sigma'_v}{\sigma_{ve}^*} \right) - IL \right) \quad \text{ou} \quad \left(\log \left(\frac{\sigma'_v}{\sigma_{ve}^*} \right) - \sigma'_v \right)$$

Utilisation du paramètre de sensibilité $St = \frac{\sigma'_v}{\sigma_{ve}^*}$ (Cotecchia et Chandler, 2000)

Comportement de l'argile GoG



➔ Pic : $\frac{\sigma'_v}{\sigma_{ve}^*} = 8,5$

➔ Comportement post rupture progressive du « ciment » et évolution de la structure vers l'état remanié avec variation de S_f

État remanié : Déstructuration selon Leroueil (Leroueil et al, 1979)

$$\frac{\sigma'_v}{\sigma_{ve}^*} = 1$$

➔ Comportement de l'argile GoG remaniée

Conclusion

- Deux concepts proposés pour la compressibilité des argiles remaniées reconstituées au laboratoire différent dans le repérage de l'arrangement des grains.

Biarez-Favre en utilisant w_L et w_p (deux paramètres de nature)

Burland en utilisant e^*_{100} et e^*_{1000} (deux paramètres d'arrangement)

- La ICL de Burland représente la compressibilité sur un large éventail de w_L .
- La NCRS de Biarez-Favre est moins adaptée dans les valeurs fortes de w_L mais demeure très satisfaisante pour les moyennes et faibles w_L .
- La NCRS a l'avantage d'être simple d'utilisation car elle est basée sur deux « paramètres de nature » courants : les limites d'Atterberg.

Journée hommage au Professeur Jean Biarez

« Du Grain à l'Ouvrage »

mercredi 12 mars 2008

Les modèles « Biarez », sable - argile remaniée et sable très lâche, Au triaxial drainé et non-drainé

Modèle de comportement en grandes déformations des sols et argiles remaniées à l'oedomètre et au triaxial.

J. L. Favre, J. Biarez, S. Mekkaoui

Symposium International - Paris - 2 - 3 septembre 2002

Jean-Louis Favre^a & Mahdia Hattab^b

^aLaboratoire de Mécanique des Sols-Structures et Matériaux (École Centrale Paris)-CNRS-8579

^bLaboratoire de Physique et Mécanique des Matériaux (Université Paul Verlaine)-CNRS-7554



Introduction

Vue unifiée des matériaux granulaires

Argiles remaniées

Sables à granulo. serrée

Sables à granulo. étendue

Limons

Sables argileux

Sables très lâches

etc.

Triaxial

Grandes déformations

Petites déformations

Modèles de référence des sols de labo.

$N + A = \text{Méca}$

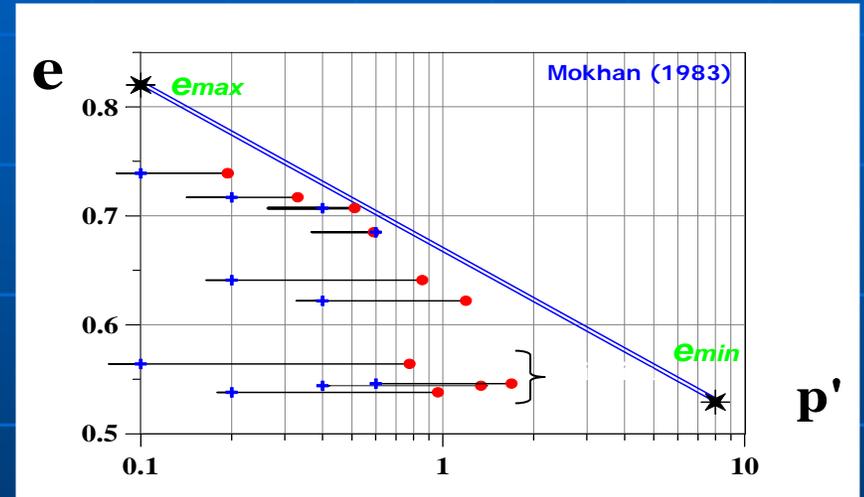
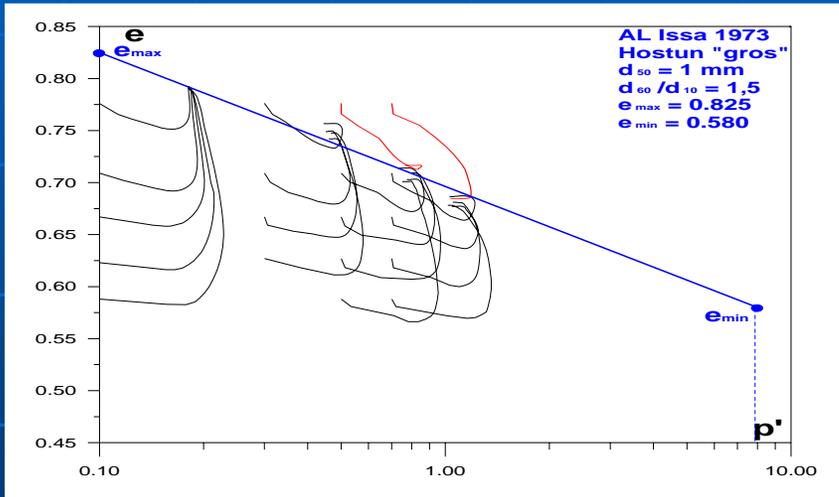
« colles »

Anisotropie

Fissuration etc.

Modèles de référence des sols naturels

Plasticité parfaite avec indice des vides critique (sables)



Plasticité parfaite avec indice des vides critique

« d'après J. L. Favre

Argiles remaniées

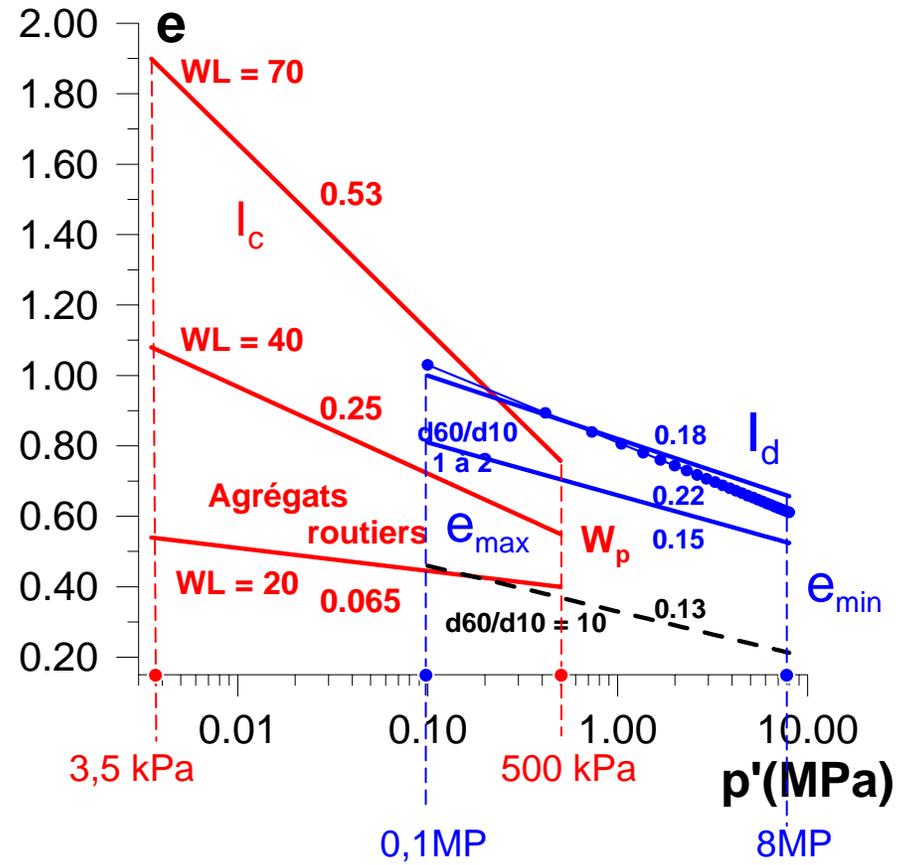
$$I_c(\text{CSL}) = 0,46(\log p' - 0,54)$$

avec p' en kPa

Sables

$$I_d(\text{CSL}) = 0,52(\log p' - 2)$$

avec p' en kPa



Les chargements isotropes normalement consolidés et surconsolidés

État normalement consolidé (Roscoe)

$$e(ISL) = e_0 + 0,1 - Cc(\pi_0 - \log p')$$

pour les sables

$$e_0 = e_{max}, \quad \pi_0 = 2, \quad p' \text{ en kPa}$$

$$Cc = (e_{max} - e_{min}) / 1,9$$

pour les argiles

$$e_0 = e_l, \quad \pi_0 = 0,54, \quad p' \text{ en kPa}$$

$$Cc = 0,009(w_L - 13)$$

Etat surconsolidé

$$Cc = 0,009(w_L - 13)$$

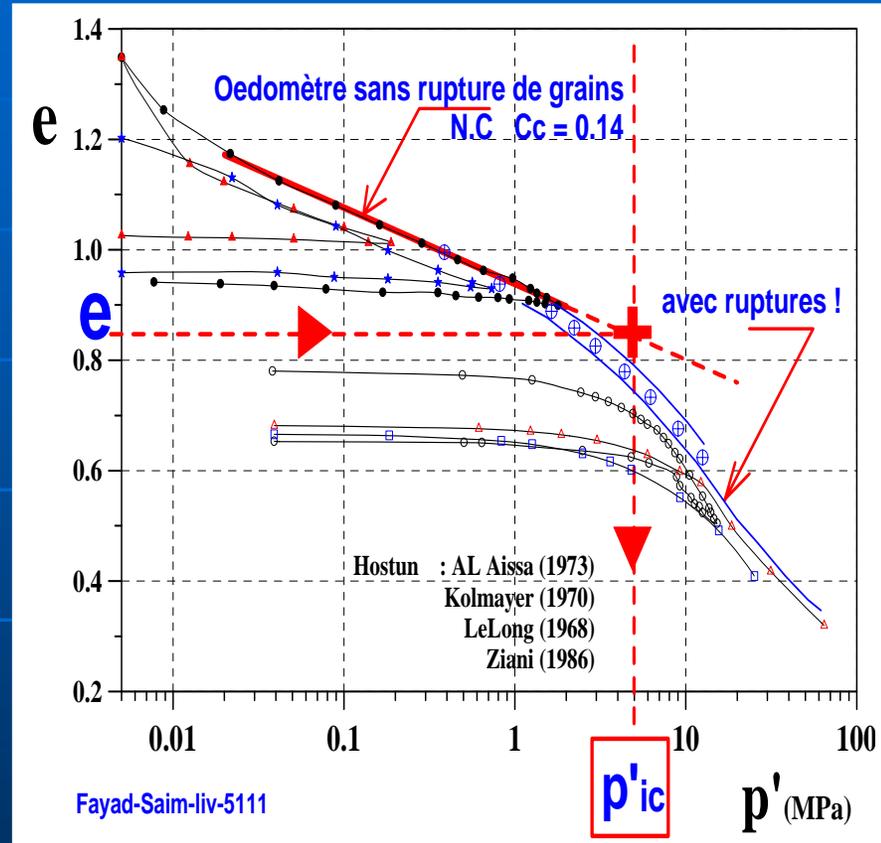
$$Cc = 0,20$$

$$Cc/Cs = 4$$

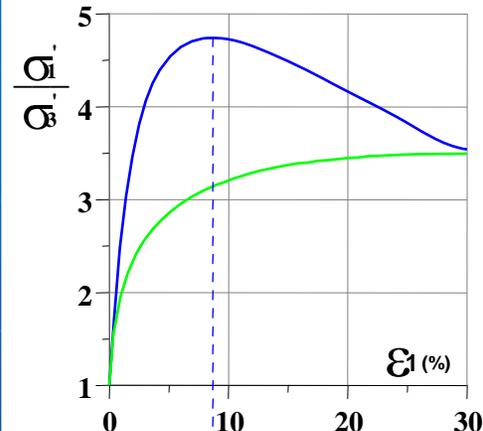
$$Cc/Cs = 10$$

pour les argiles

pour les sables propres



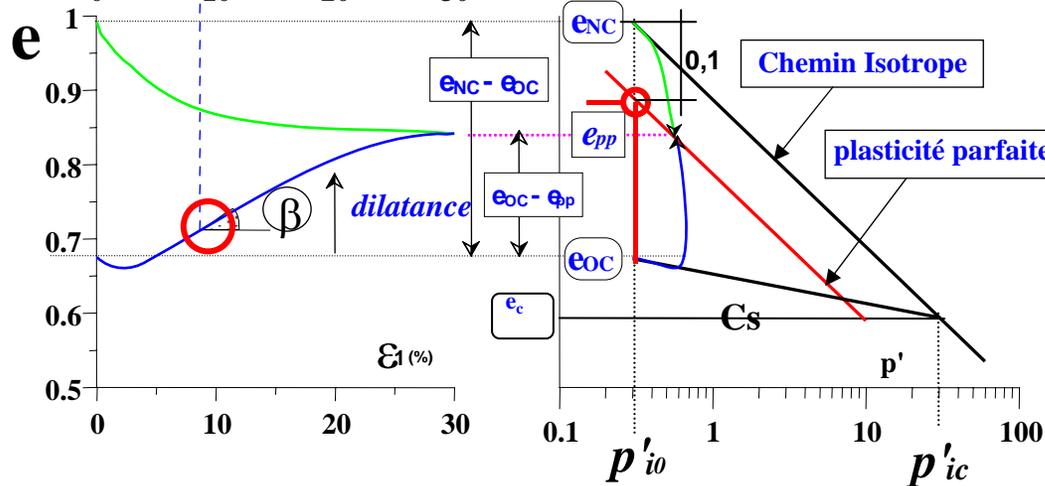
Les chargements isotropes normalement consolidés et surconsolidés



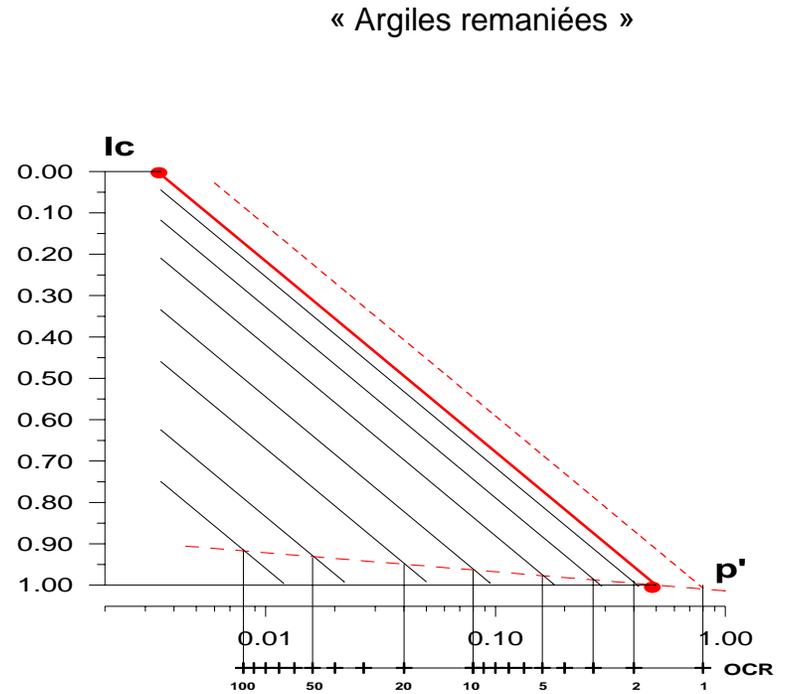
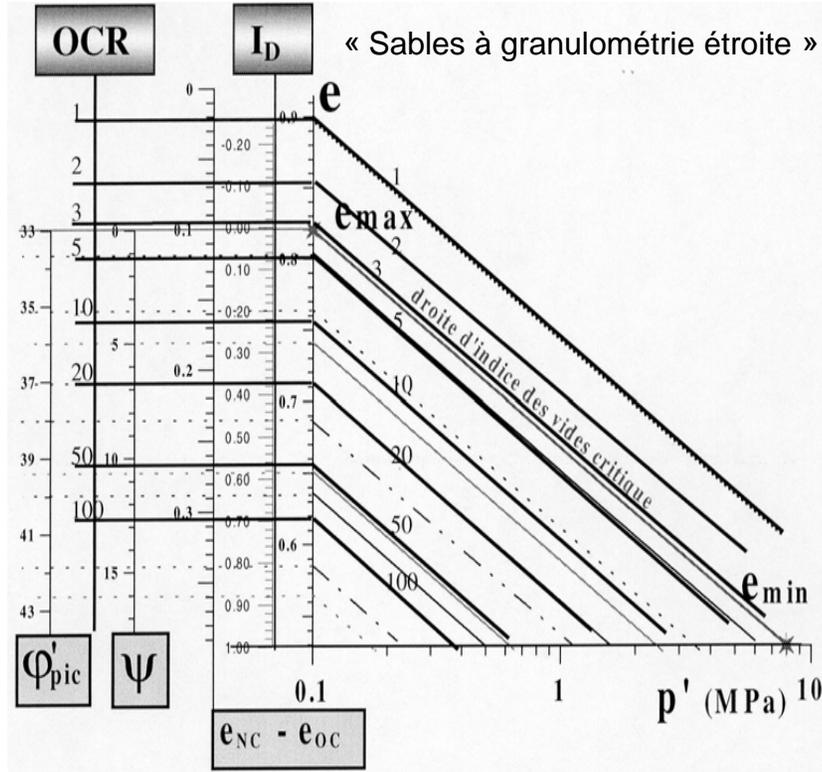
Surconsolidation généralisée

$$\text{OCR} = \frac{p'_{ic}}{p'_i}$$

$$e_{NC} - e_{OC} = (C_c - C_s) \log(p'_{ic}/p'_i)$$

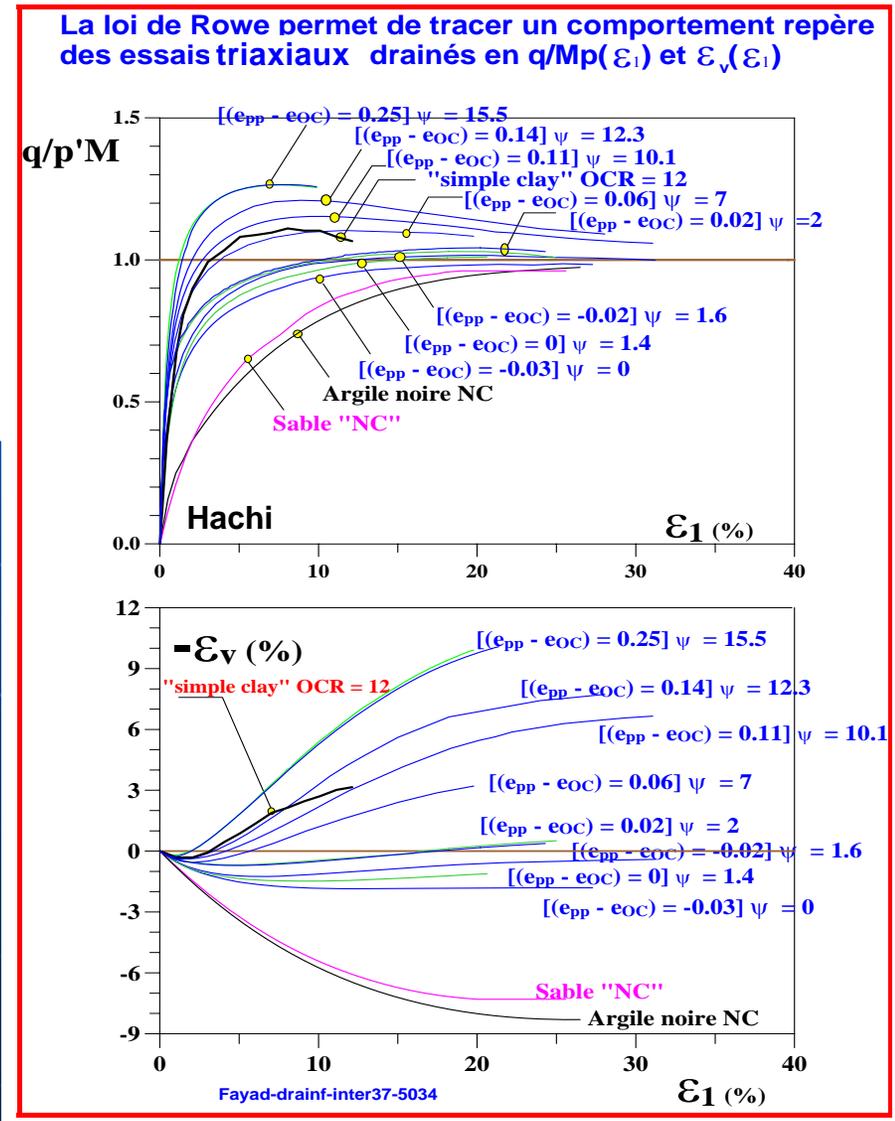
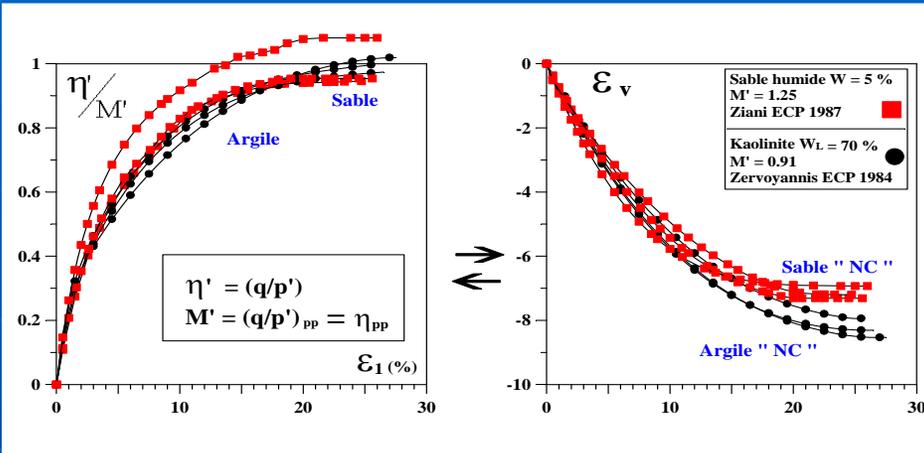


« d'après Fayad-Saïm



« d'après Mekkaoui - Favre »

le chemin triaxial drainé pour les sables et argiles

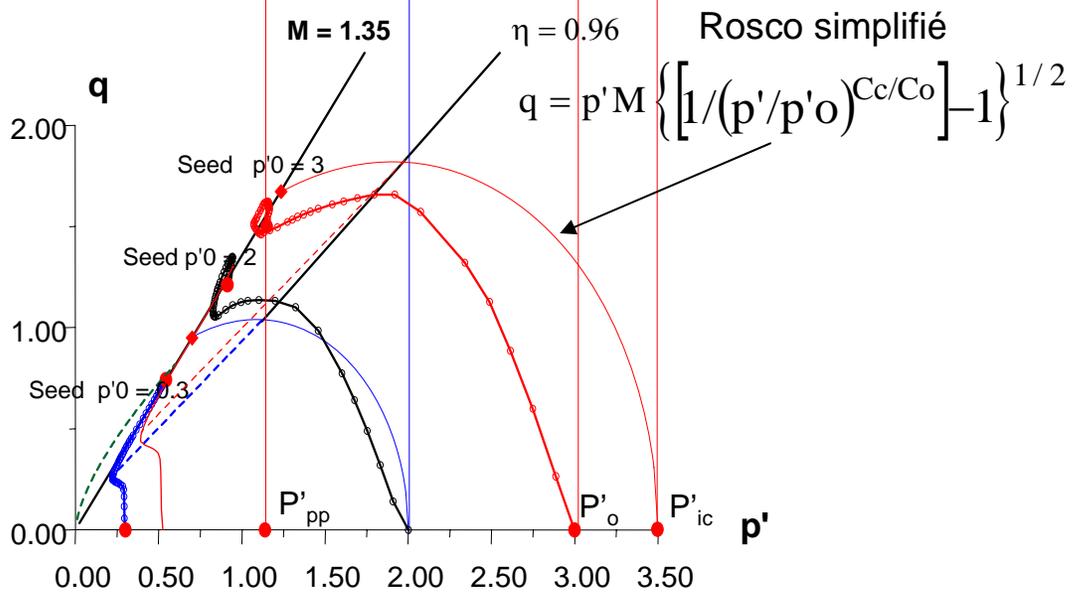
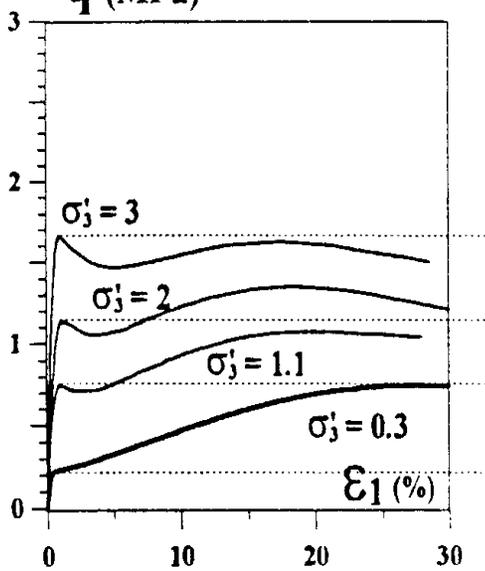
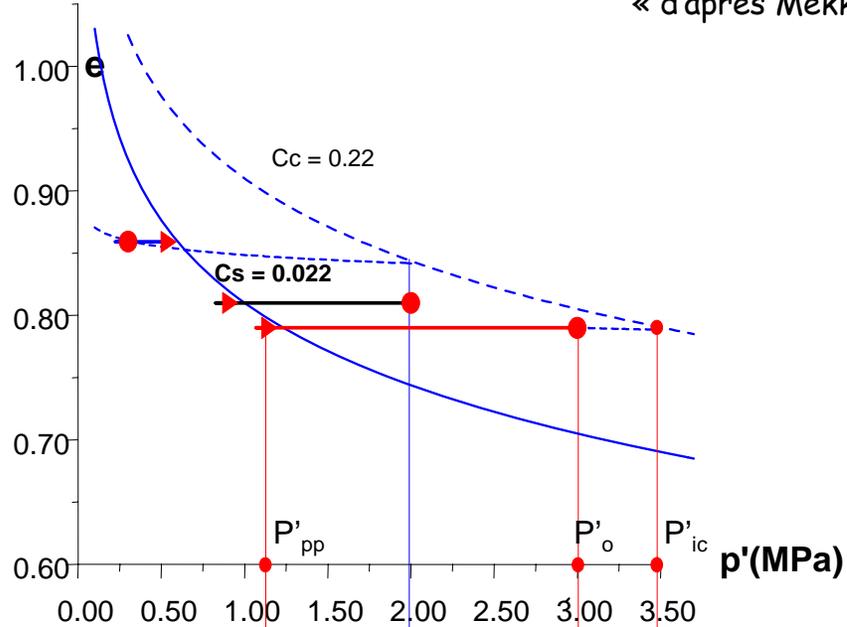
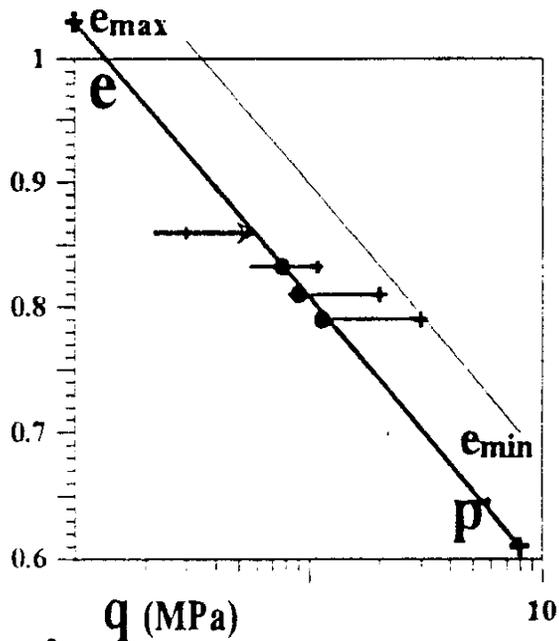


le modèle mathématique

$$\epsilon_v = f(\theta_0, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \epsilon_1)$$

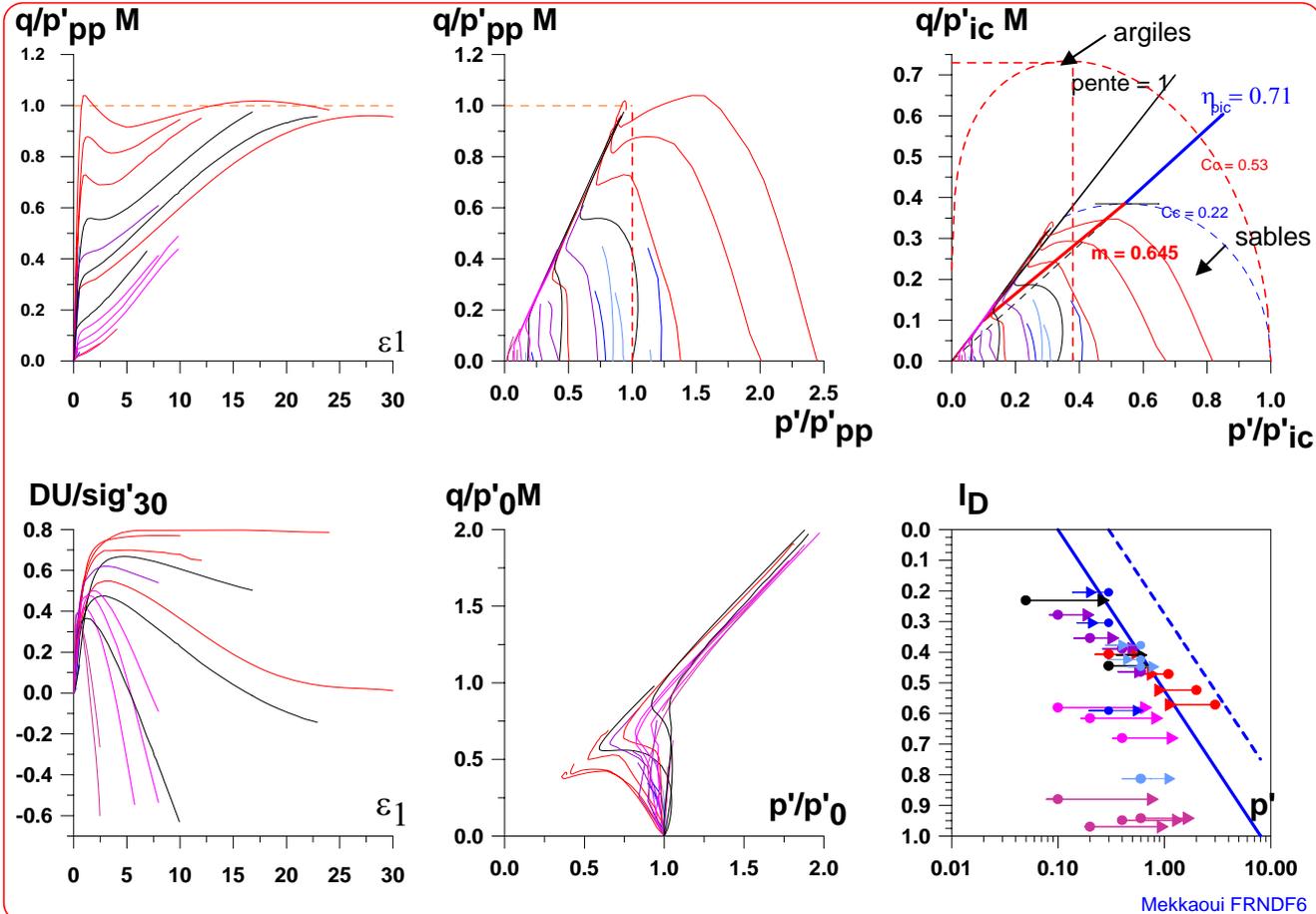
$$\sigma'_1 / \sigma'_3 = \text{tg}^2(\pi/4 + \Phi_f/2) \cdot (1 - d\epsilon_v/d\epsilon_1) \text{ Rowe}$$

$$\Phi_f = \Phi_{pp} - 12,4 \cdot (e_{pp} - e_{OC}) \text{ (Hachi)}$$



le chemin triaxial non drainé pour les sables

Comportement de référence pour les sables non drainés



Limite supérieure du solide

