

**CAUSES ET CONSEQUENCES  
DE L'EFFET D'ECHELLE  
DANS LES MILIEUX GRANULAIRES  
-Effet de la rupture des grains –**

Christophe DANO  
*Ecole Centrale de Nantes*



CFMS - 8 décembre 2010

**PLAN DE L'EXPOSE**

**1 - Différentes sources d'effets d'échelle**

**2 – Le cas de la rupture des grains**

**3 – Approche expérimentale**

**4 – Approche théorique**

**Effet d'échelle** : évolution des propriétés mécaniques avec le volume étudié

1

**Sources des effets d'échelle**

Effets liés à la structure

Effets liés au matériau

Géométrie d'interface

Fissuration

Localisation

Rupture des granulats

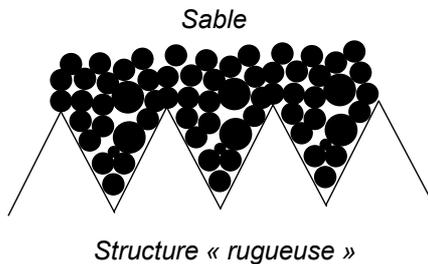
CFMS - 8 décembre 2010

Géométrie d'interface :  
effet de taille relative  $g/s$  ou effets de bords

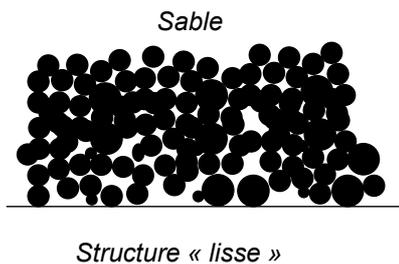
(Schlosser & Guilloux, 1981)

(Uesugi & Kishida, 1986)

(Balachowski, 1995)



Rejet du cisaillement dans  
le matériau granulaire



Résistance plus faible  
dilatance / coefficient de frottement

CFMS - 8 décembre 2010

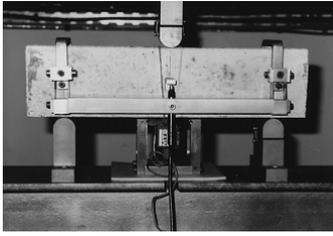
Retour

**Fissuration & Ténacité dans les milieux granulaires cohérents**

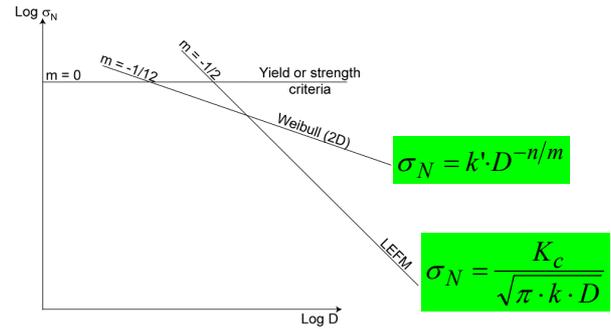
(Bazant, 2000)

(Dufour, 2008)

...



**Décroissance de la contrainte nominale  $\sigma_N$  avec la dimension  $D$  de l'échantillon testé**



CFMS - 8 décembre 2010

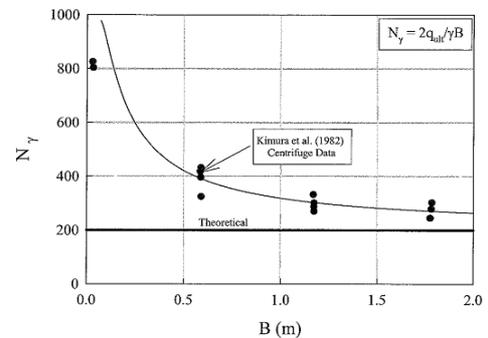
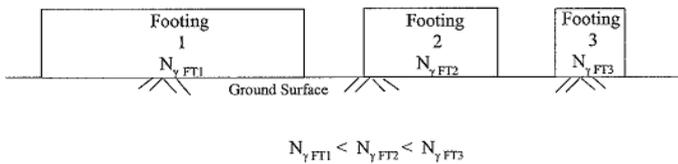
**Retour**

**Localisation des déformations**

(Habib, 1974)

(Cerato, 2005)

Et beaucoup d'autres ...



$$E_{bdc} \sim 10x d_{50}$$

CFMS - 8 décembre 2010

**Retour**

2

**Le cas de la rupture des grains**



(Frossard, 2007)

Travaux de Marsal (Mexique), Marachi et al. (Berkeley), Leps (1970) puis McDowell & Bolton (1998)



Diminution de l'angle de frottement au pic avec la taille des granulats testés

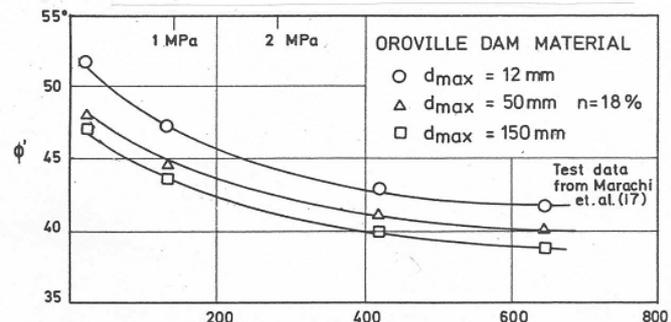
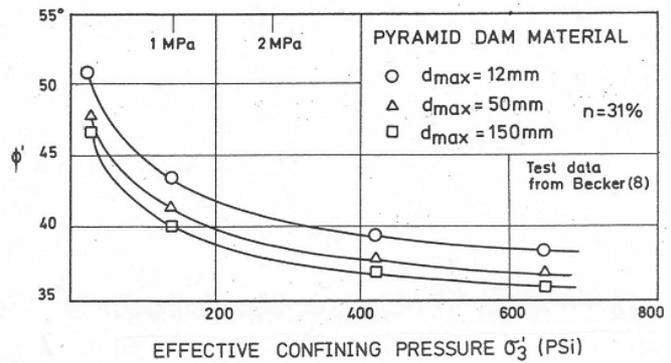
- Réduction de la dilatance

- Augmentation des indices de rupture des grains

CFMS - 8 décembre 2010

2

**Le cas de la rupture des grains**

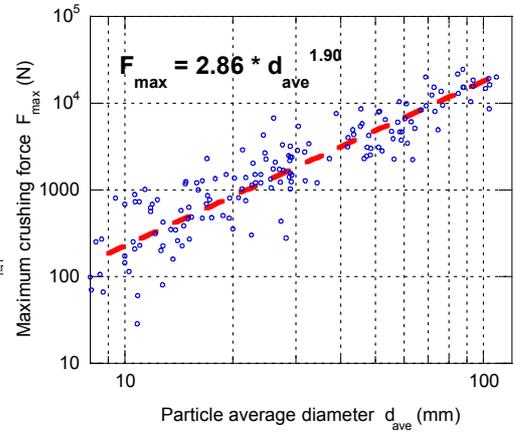
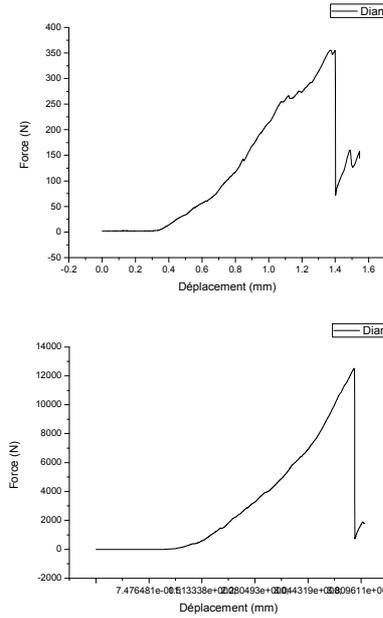


CFMS - 8 décembre 2010



Approche expérimentale

Résistance des grains

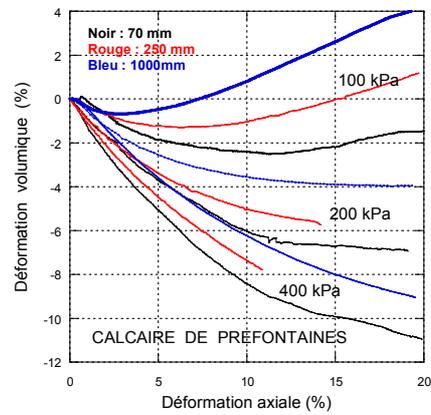
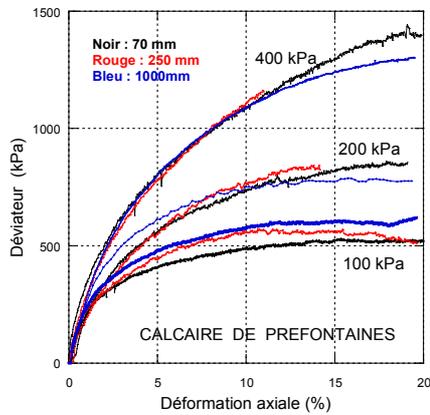


$$\sigma_f \propto d^{\lambda-2}$$

CFMS - 8 décembre 2010

Approche expérimentale

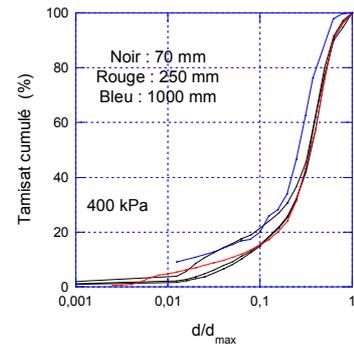
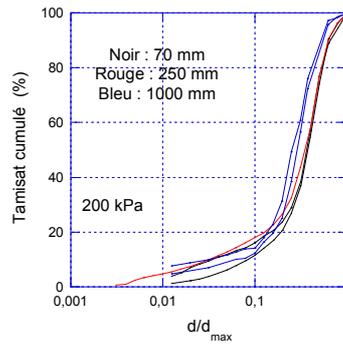
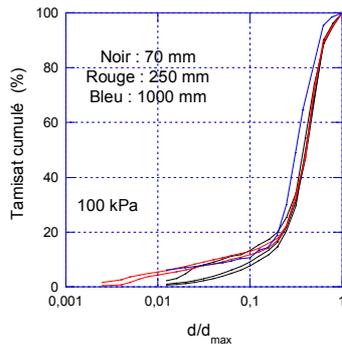
Résistance des assemblages granulaires



CFMS - 8 décembre 2010

Approche expérimentale

Résistance des assemblages granulaires



CFMS - 8 décembre 2010

4

Approche théorique

Approche théorique développée selon 2 axes

- Prise en compte de l'effet d'échelle dans le critère de rupture  $\Rightarrow$  stabilité des pentes
- Intégration de l'effet d'échelle dans un modèle élasto-plastique  
 $\Rightarrow$  théorie de la **comminution**

CFMS - 8 décembre 2010

4

Approche théorique

$$m_{fi} = [1 - S_i(\sigma)] \cdot m_{0i} + \sum_{j=1}^N [S_{i+1}(\sigma) \cdot b_{i+1,j}(x_i, x_j) \cdot m_{0j}]$$

Statistique de Weibull appliquée à la résistance des grains + distribution des forces de contact au niveau des grains

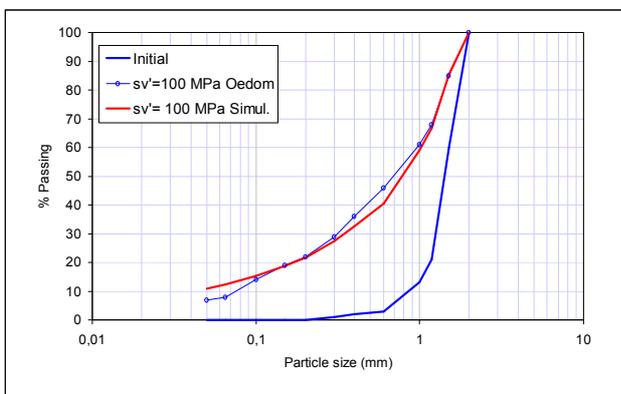
Distribution de la taille des fragments d'un grain : fractale ?

CFMS - 8 décembre 2010

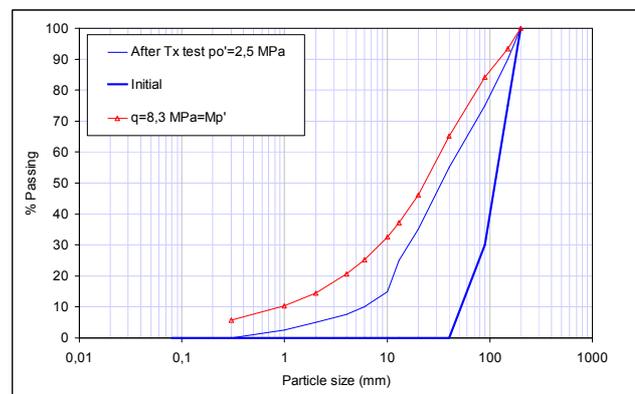
4

Approche théorique

$$m_{fi} = [1 - S_i(\sigma)] \cdot m_{0i} + \sum_{j=1}^N [S_{i+1}(\sigma) \cdot b_{i+1,j}(x_i, x_j) \cdot m_{0j}]$$



Simulation des essais de  
McDowell, 2002



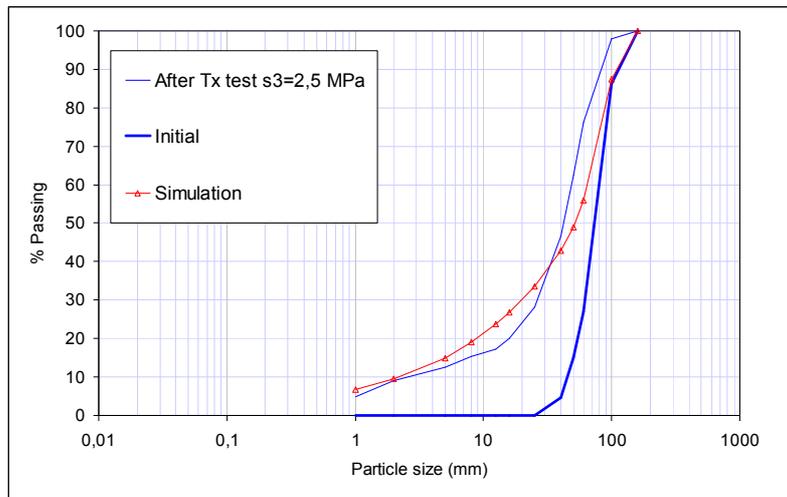
Simulation des essais de  
Marsal, 1973

CFMS - 8 décembre 2010

**4**

**Approche théorique**

$$m_{f_i} = [1 - S_i(\sigma)] \cdot m_{0i} + \sum_{j=1}^N [S_{i+1}(\sigma) \cdot b_{i+1,j}(x_i, x_j) \cdot m_{0j}]$$



*Essais sur le calcaire de Préfontaines, projet ECHO  
(Ovalle, 2010)*

CFMS - 8 décembre 2010



**Travail d'équipe**

**PY. Hicher**

**W. Hu, C. Ovalle, G. Li**

**M. Khemakhem, P. Duan, I. Benazzouz**

**JY. Le Touzo, P. Denain, M. Schaba**

**Contexte du projet ANR ECHO**

**Effets d'échelle dans les ouvrages  
en remblais du génie civil**

CFMS - 8 décembre 2010

MERCI DE VOTRE ATTENTION

CFMS - 8 décembre 2010