



Journée technique du 9 décembre 2009
Érosion et ouvrages géotechniques

Erosion et dispersion : nouveaux moyens d'étude

- *Christophe Chevalier, LCPC, Paris*
- *Nadia Benahmed, CEMAGREF, Aix en Provence*
- *Didier Marot, GeM, IUT St Nazaire*



Laboratoire Central
des Ponts et Chaussées



Evaluation de la sensibilité des sols face aux risques érosifs

– *revue d'essais menés à différentes échelles* –

C. Chevalier, P. Reiffsteck, M. Duc, S. Guédon
I. Haghghi, T.L. Pham
LCPC Paris, division MSRGI

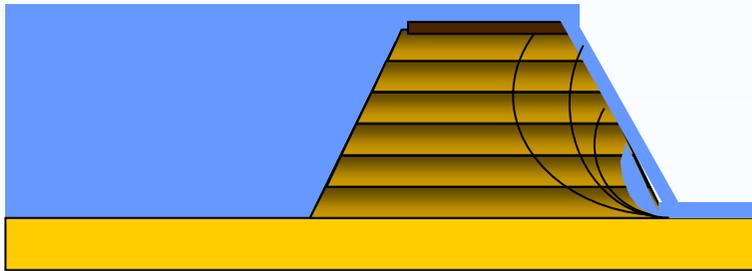


CFMS - Journée technique du 9 décembre 2009
Érosion et ouvrages géotechniques

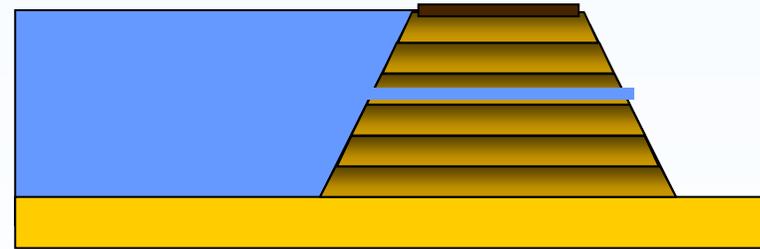
Scénarios d'érosion

◆ Ouvrages en terre soumis à une charge hydraulique

◆ Surverse

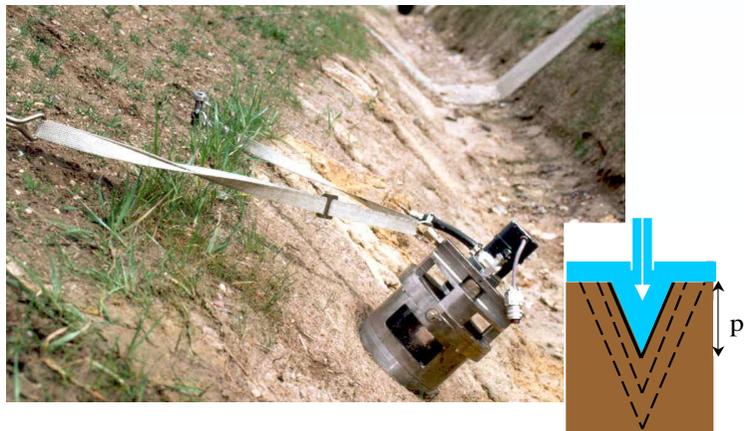


◆ Erosion interne

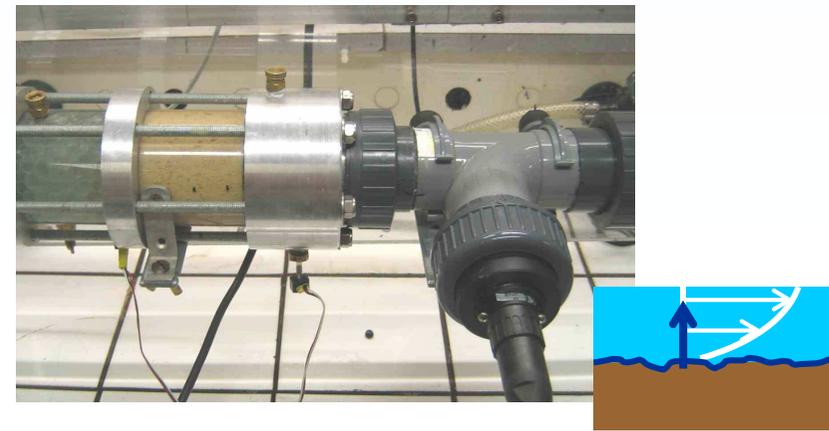


Caractérisation (approche simpliste)

◆ Erodimètre à Jets Mobiles



◆ Essai d'Erosion de Trou (HET)



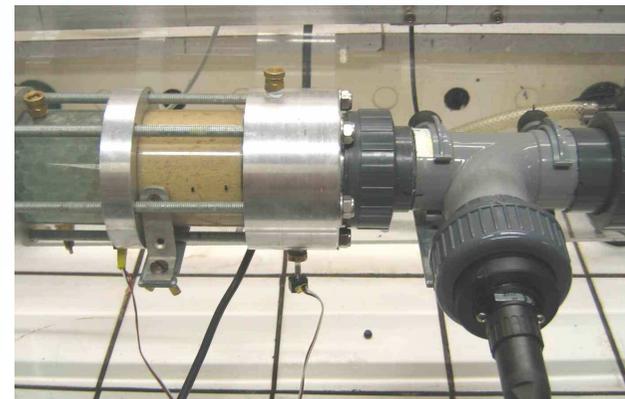
Démarche

- ◆ Amélioration/modification de protocoles existants
- ◆ Développement de nouveaux essais

Macro

- ◆ Erodimètre à Jets Mobiles
- ◆ Essai d'Erosion de Trou

Micro



- ◆ Amélioration/modification de protocoles existants
- ◆ Développement de nouveaux essais

Macro

- ◆ Erodimètre à Jets Mobiles
- ◆ Essai d'Erosion de Trou
- ◆ « Pinhole test »
- ◆ **Nouvel Essai d'Emiettage**
- ◆ Sédimentation
- ◆ « Double hydrometer test »
- ◆ Zétamétrie

Micro

- ◆ Comparaison des essais entre eux : **matériaux de référence**
- ◆ Lien avec le **terrain**



- ◆ Amélioration/modification de protocoles existants
- ◆ Développement de nouveaux essais

Macro

- ◆ Erodimètre à Jets Mobiles

un essai facile d'utilisation applicable en laboratoire ou sur le terrain

- ◆ Nouvel Essai d'Emiettage
- ◆ Sédimentation
- ◆ « Double hydrometer test »
- ◆ Zétamétrie

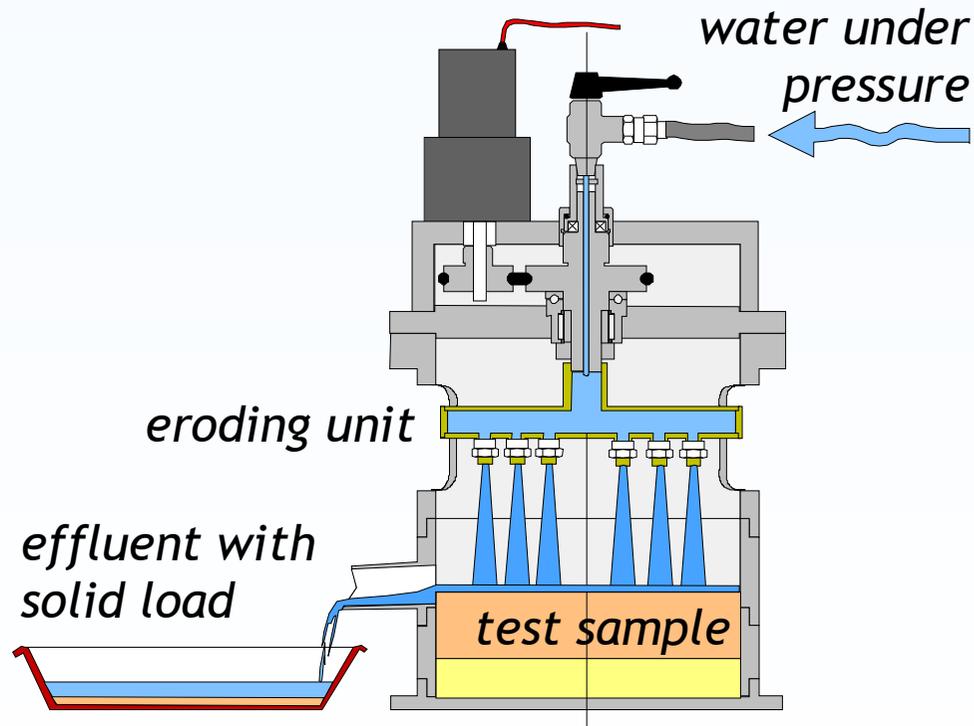
Micro

- ◆ Comparaison des essais entre eux : **matériaux de référence**
- ◆ Lien avec le **terrain**



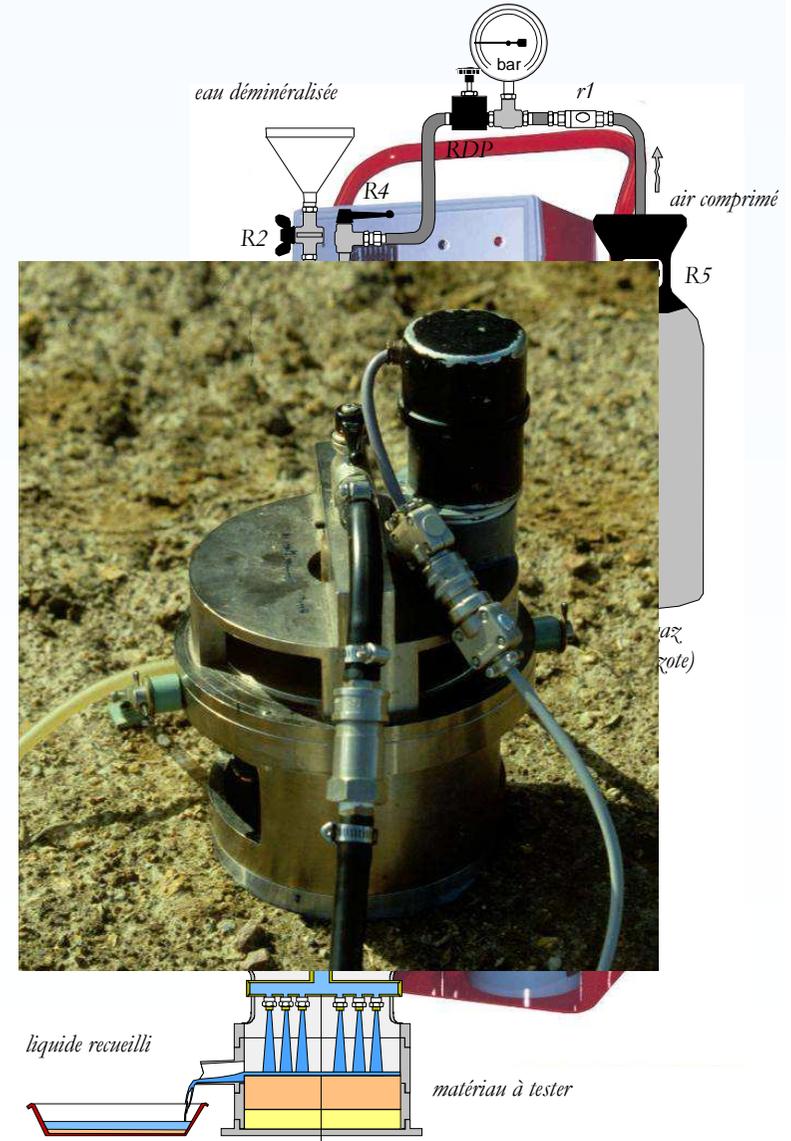
Erodimètre à Jets Mobiles

MoJET - "Mobile Jets Erosion Test"



Henensal et Duchatel 1990

- ◆ Mesure : masse sèche érodée au cours du temps



Utilisation sur site et en laboratoire

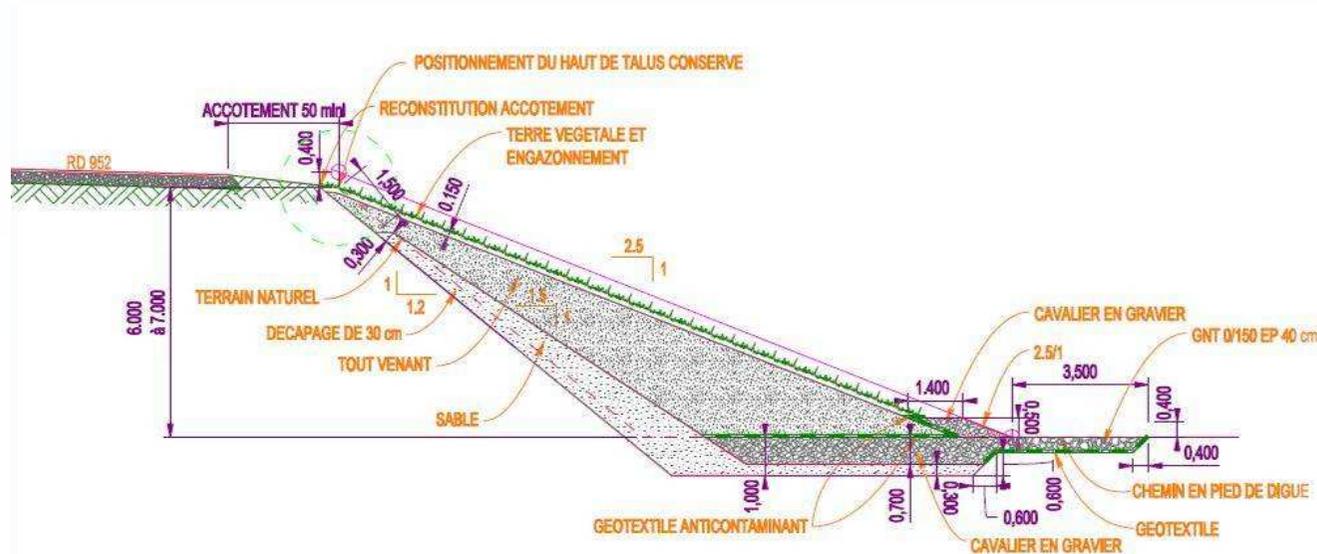


Une illustration : Campagne d'essais sur les levées de Loire

◆ Dignes de Loire, PN ERINOH



◆ Essais d'érosion lors du décapage pour extension du talus



Contexte et objectifs

Regarder l'influence sur la sensibilité à l'érosion :

- ◆ du lieu et de la position sur la digue



commune de La Bohalle

en pied de digue



commune de St Mathurin sur Loire

en pied de digue

en haut de talus

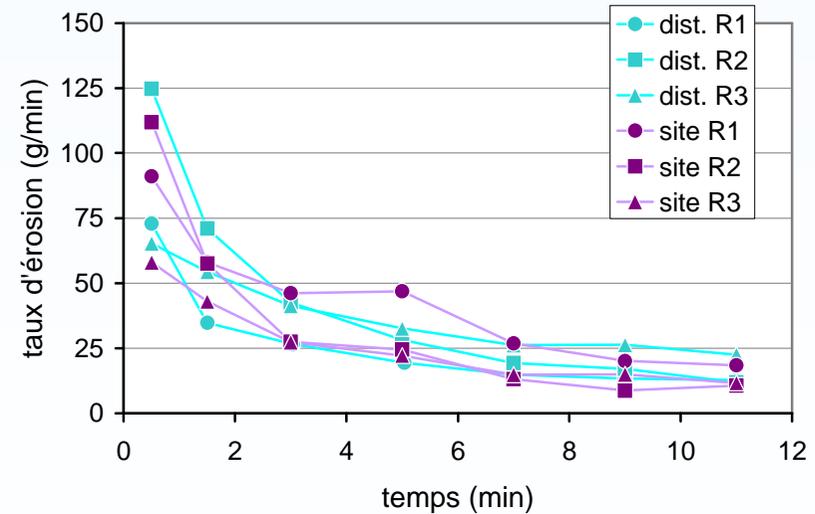
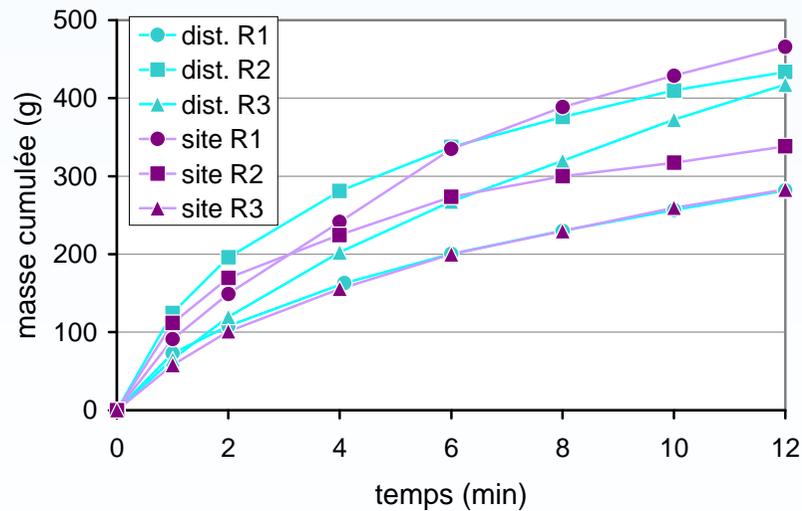
- ◆ du type de fluide

eau distillée

eau du robinet

eau du site

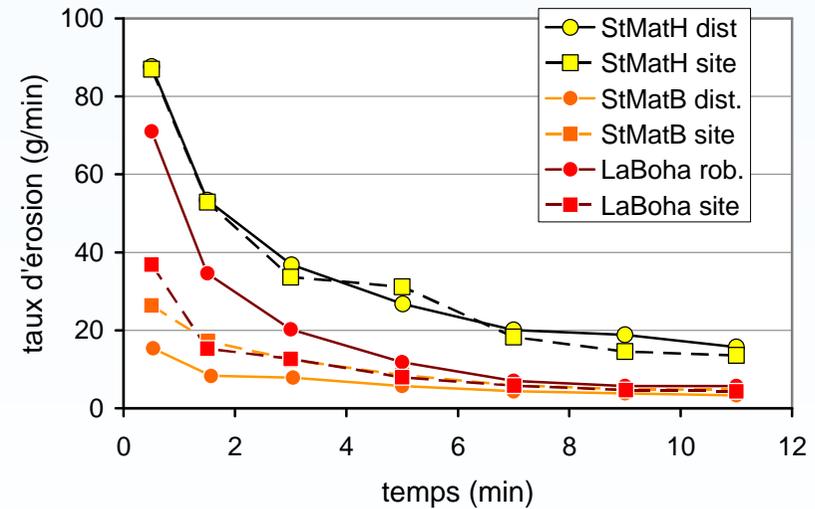
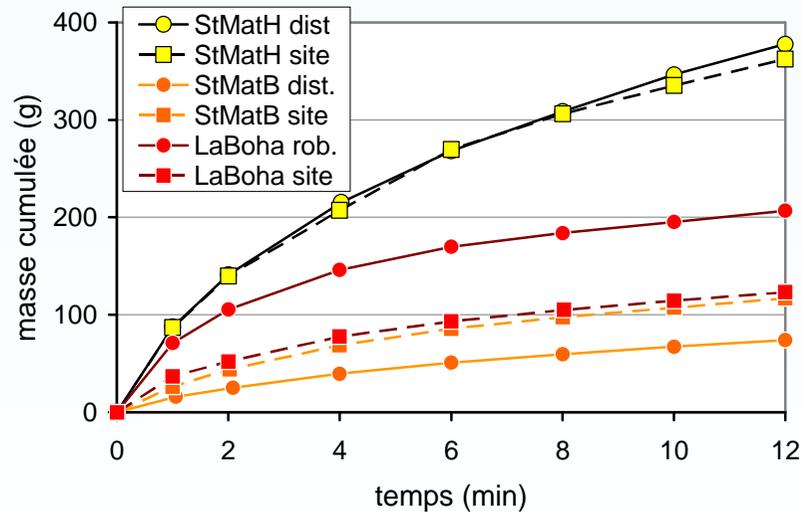
◆ Résultats à Saint Mathurin sur Loire, haut de digue,
eau distillée et eau du site



→ caractérisation *in situ* de la sensibilité à l'érosion (de surface)

→ peu ou pas d'influence du fluide érodant

◆ Analyse des résultats par configuration (site et fluide)



→ *classement des 3 sols selon leur sensibilité à l'érosion*
 → *peu ou pas d'influence du fluide érodant*

◆ Lien avec les caractéristiques des sols testés

- granulométrie : sol en bas de digue plus fin à St Mathurin
- angle de l'essai : sol moins pentu à La Bohalle



Conclusions / Perspectives



- ◆ Forte influence du matériau envisagé
(en lien avec la granulométrie et la pente de l'essai)

- ◆ Pas d'influence très sensible du fluide érodant

- ◆ *Essais sur d'autres ouvrages (PN ERINOH)*
 - canal des houillères de la Sarre (57)
 - canal du Nord (59)
 - canal de Briare à Montambert (58)
...en lien avec LRPC Blois et CETMEF

- ◆ *Essais complémentaires du type HET ou essais d'émiettage*

- ◆ Amélioration/modification de protocoles existants
- ◆ Développement de nouveaux essais

Macro

- ◆ Erodimètre à Jets Mobiles
- ◆ Essai d'Erosion de Trou

un essai de référence pour l'étude de la sensibilité à l'érosion

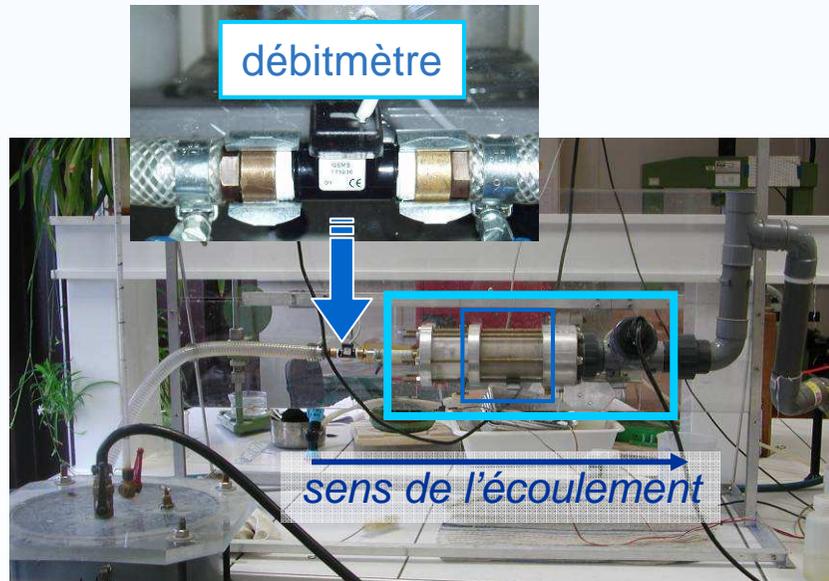
- ◆ Sedimentation
- ◆ « Double hydrometer test »
- ◆ Zétamétrie

Micro

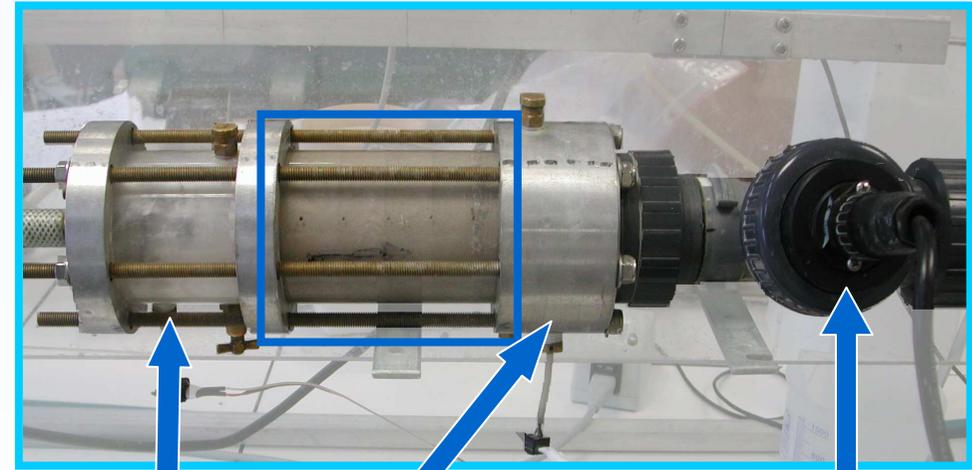
- ◆ Comparaison des essais entre eux : **matériaux de référence**
- ◆ Lien avec le **terrain**



Essai d'Erosion de Trou HET - "Hole Erosion Test"



saut de pression constant



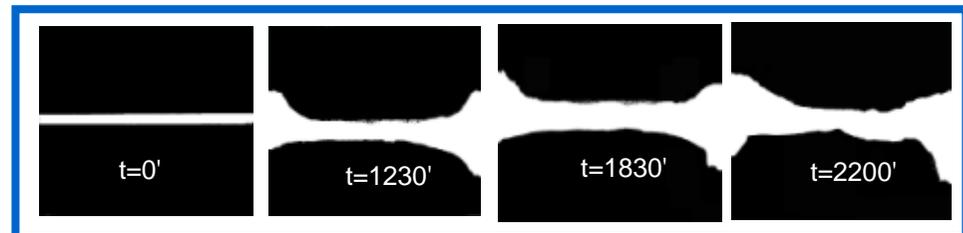
capteur de pression



turbidimètre



rayon initial et rayon final du trou



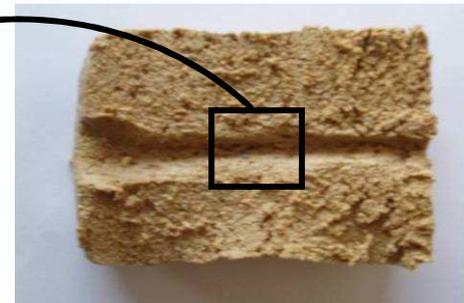
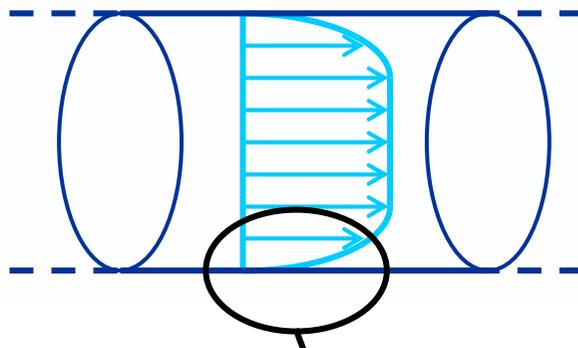
HET: interprétation

◆ Mesures

- saut de pression (paramètre de contrôle)
- débit
- turbidité
- rayons initial et final du trou

acquisition à 1 Hz

◆ Résultats

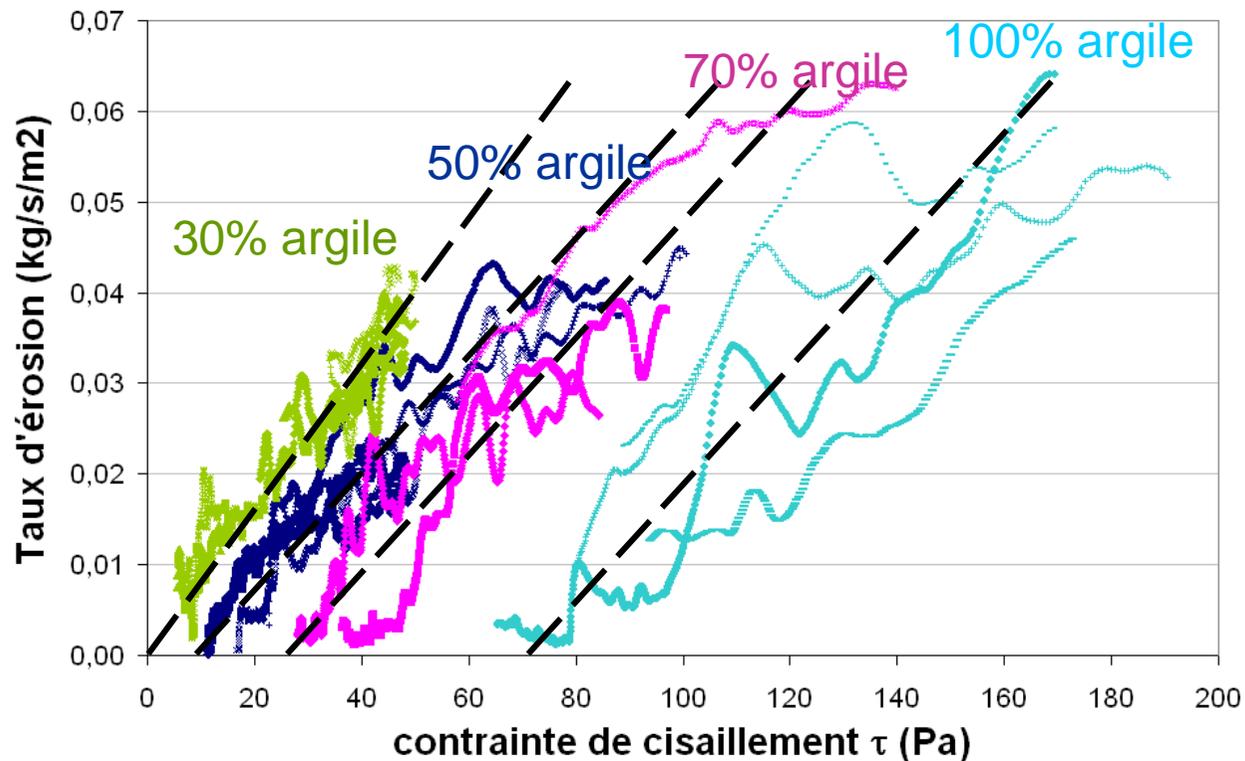
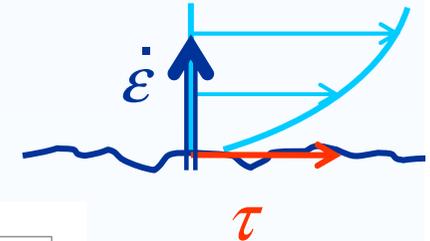


◆ Un exemple de résultats :

*comment évoluent les **paramètres d'érosion** dans un mélange sable-argile (95% OPN) selon la **teneur en argile** ?*

Erosion de trou : une illustration

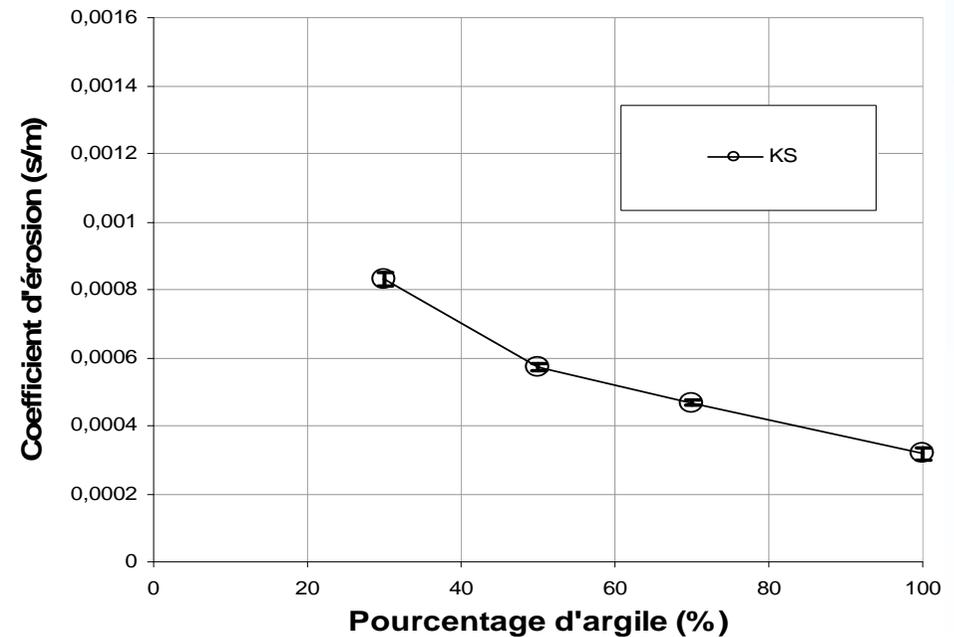
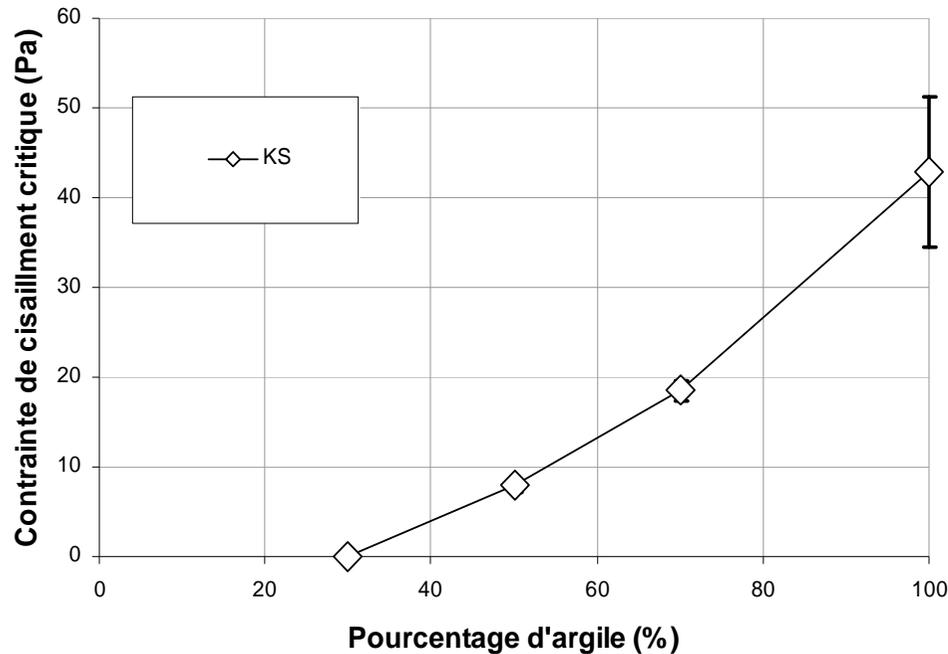
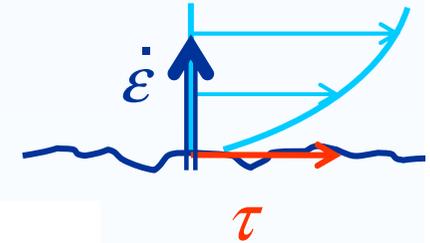
- ◆ Evolution avec la fraction d'argile kaolinite...



- apparition d'un seuil détectable entre 30 et 50% d'argile
- pas de modification significative du coefficient d'érosion

Erosion de trou : une illustration

◆ Evolution avec la fraction d'argile kaolinite...

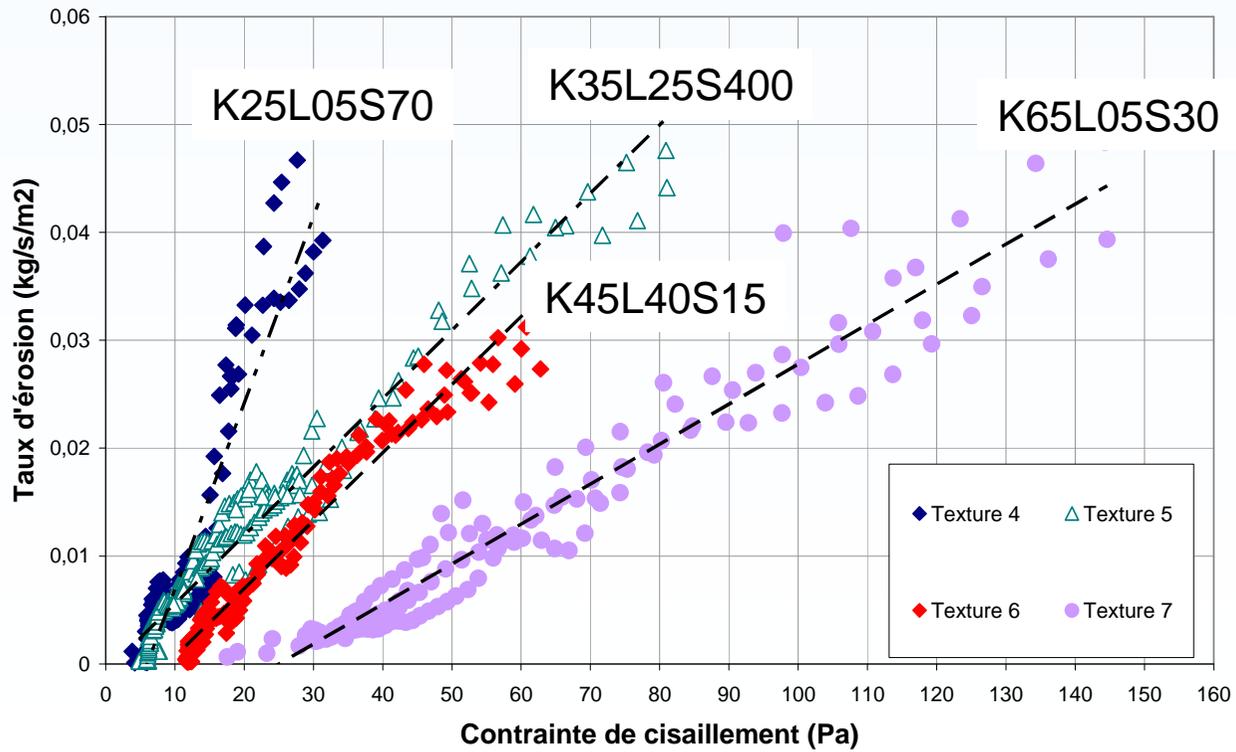
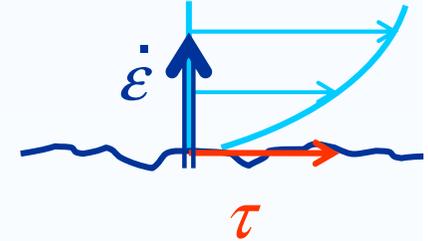


→ apparition d'un seuil détectable entre 30 et 50% d'argile

→ pas de modification significative du coefficient d'érosion

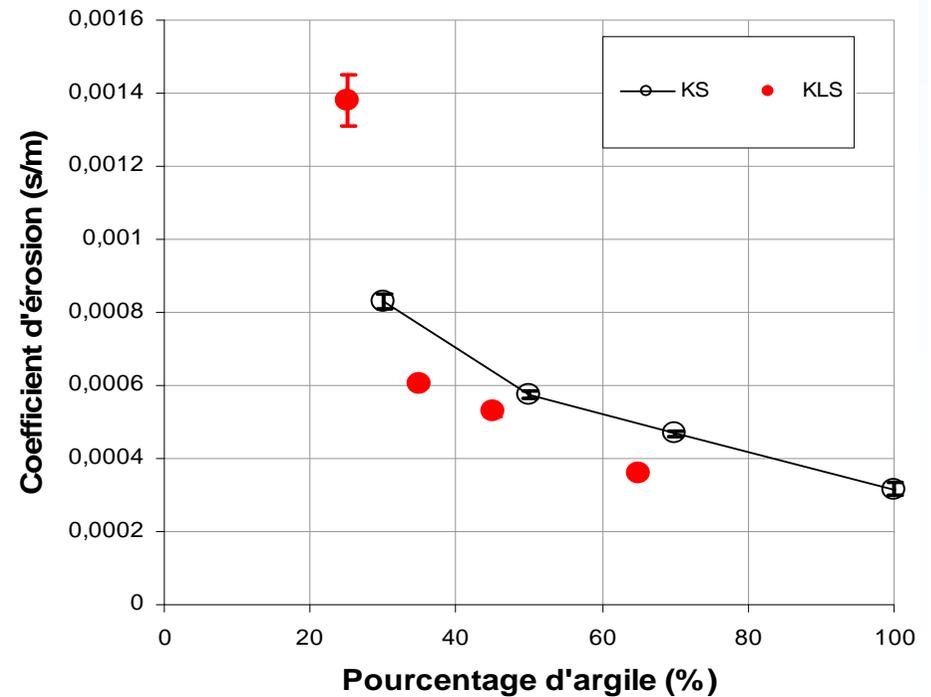
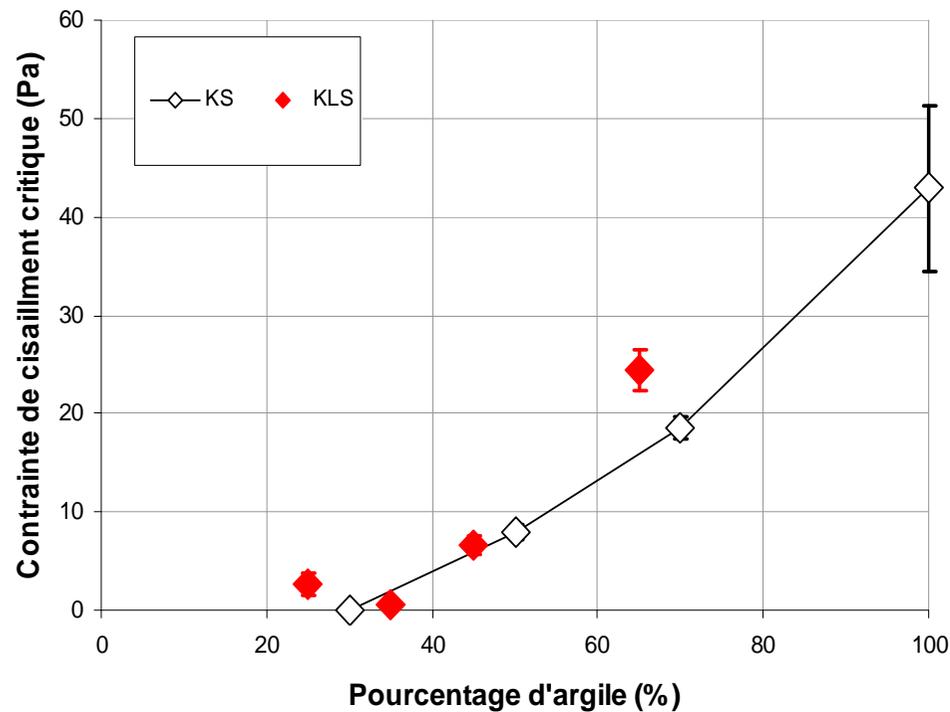
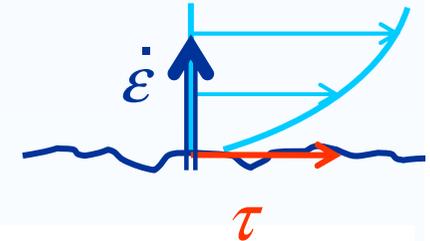
Erosion de trou : une illustration

- Vers des textures plus complexes: kaolinite+limon+sable (95% OPN)



Erosion de trou : une illustration

- ◆ Vers des textures plus complexes: kaolinite+limon+sable



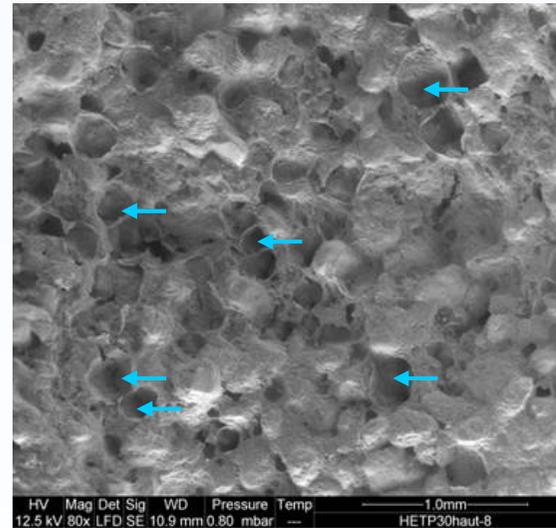
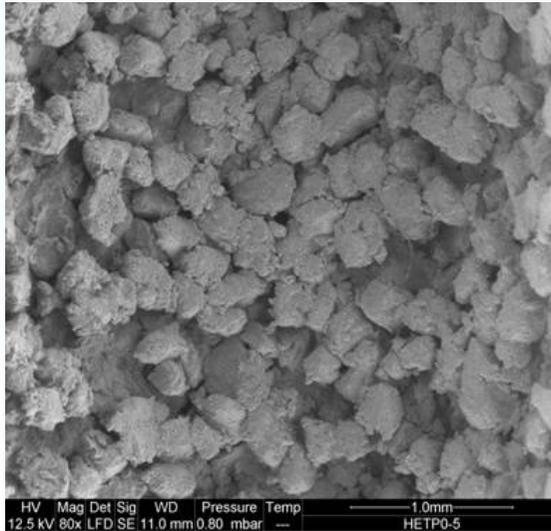
→ Bonne corrélation des résultats en ne considérant que la fraction argileuse

Pour aller plus loin : analyse au MEB

◆ avant érosion

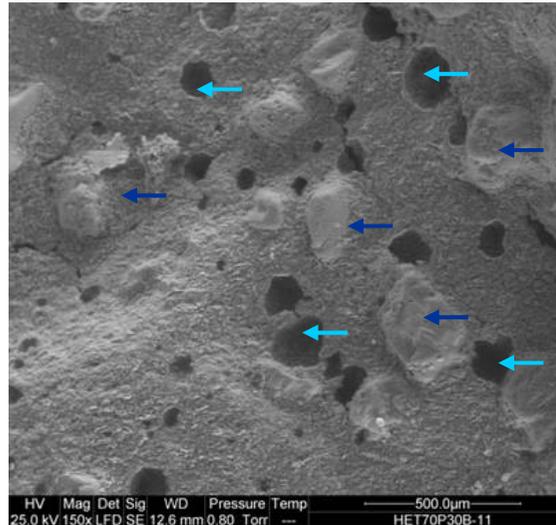
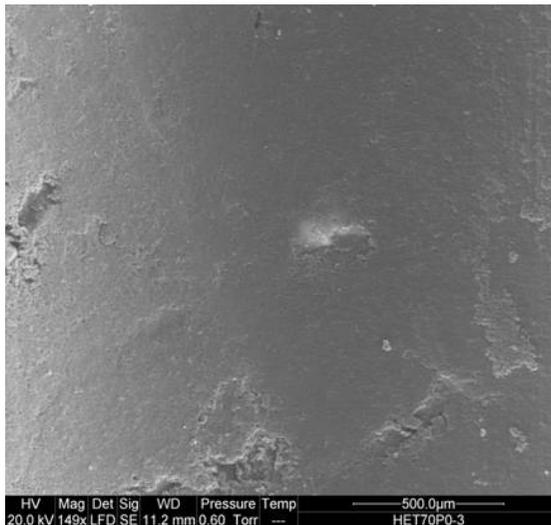
◆ après érosion

◆ 30% argile



← grains de sable
← détachés de la
← matrice argileuse

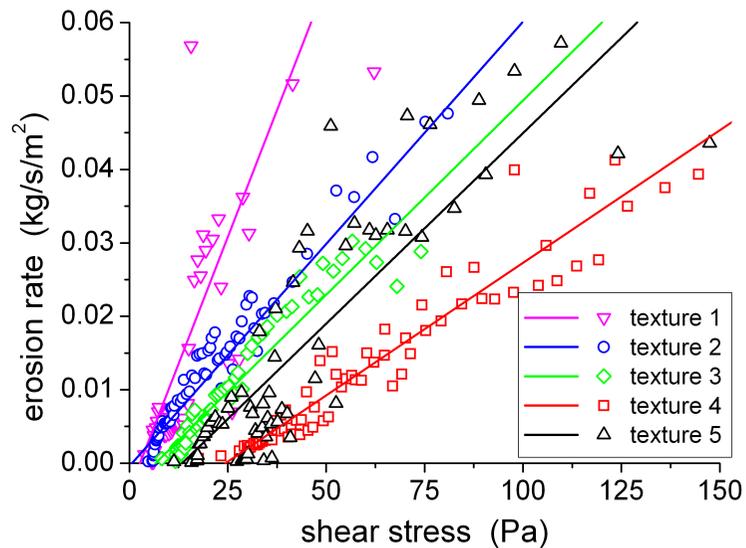
◆ 70% argile



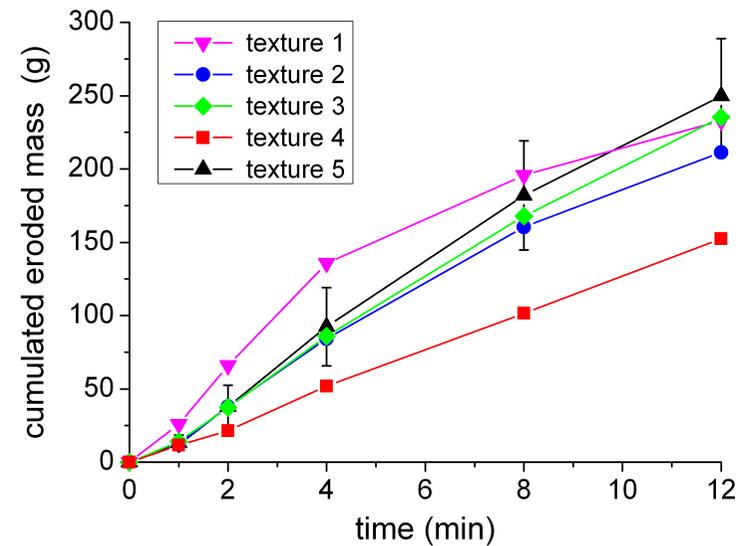
← air prisonnier de la
← texture initiale ?
← grains de sable
← retenus par la
← matrice argileuse

Comparaison entre essais

◆ Essai d'Erosion de Trou (HET)



◆ Erodimètre à Jets Mobiles



Mélanges Kaolinite+Limon+sable

- ◆ Textures "1" et "4" bien distinctes
- ◆ Textures "2", "3" et "5" relativement similaires

→ *Même tendance pour les différentes textures*

Démarche

- ◆ Amélioration/modification de protocoles existants
- ◆ Développement de nouveaux essais

Macro

- ◆ Erodimètre à Jets Mobiles
- ◆ Essai d'Erosion de Trou
- ◆ « Pinhole test »
- ◆ **Nouvel Essai d'émiettage**

un essai simple pour caractériser l'influence de l'eau

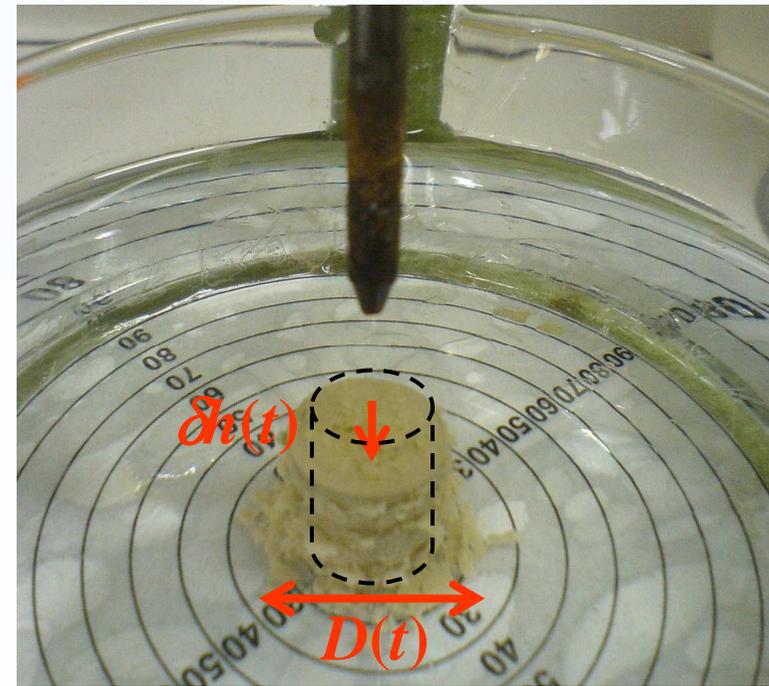
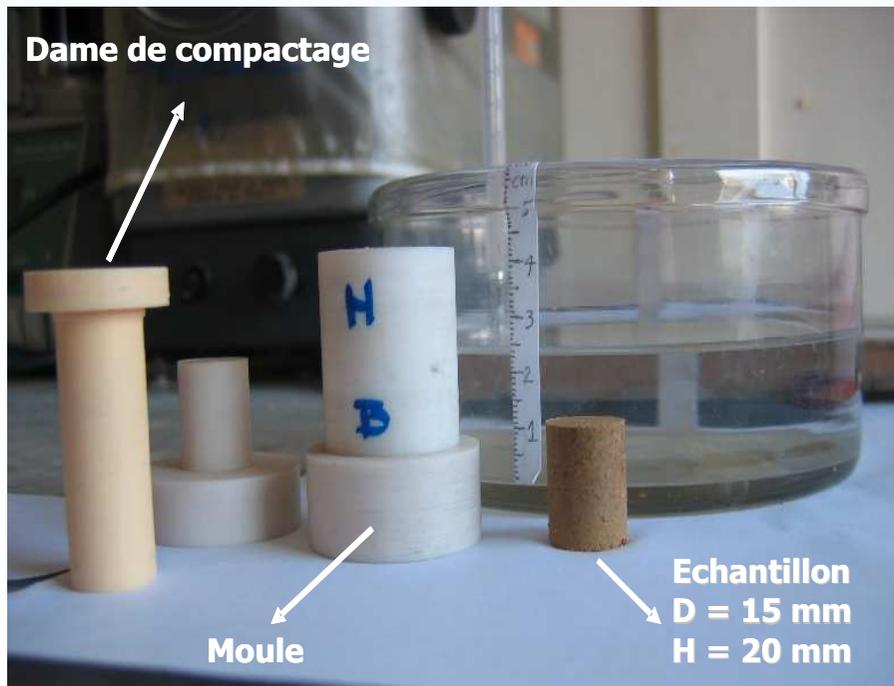
Micro

- ◆ Zetamétrie
- ◆ Comparaison des essais entre eux : **matériaux de référence**
- ◆ Lien avec le **terrain**



Nouvel essai d'émiettement*

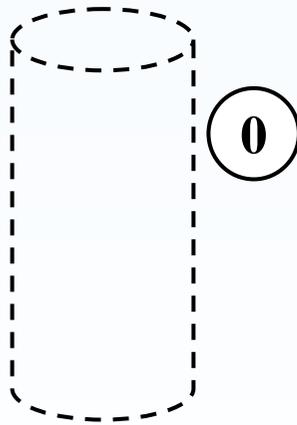
- ◆ À partir de la norme ASTM D6572-00 du « crumb test »



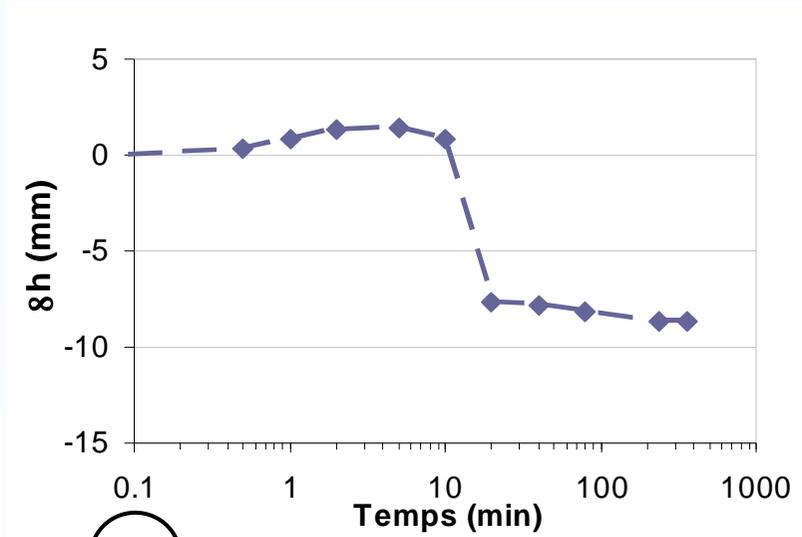
- ◆ *Echantillon de texture, de teneur en eau et de densité contrôlées (optimum Proctor)*
- ◆ *Nouvelles mesures du gonflement/affaissement $\delta h(t)$ et du diamètre $D(t)$ de l'échantillon au cours du temps*

Nouvel essai d'émiettement

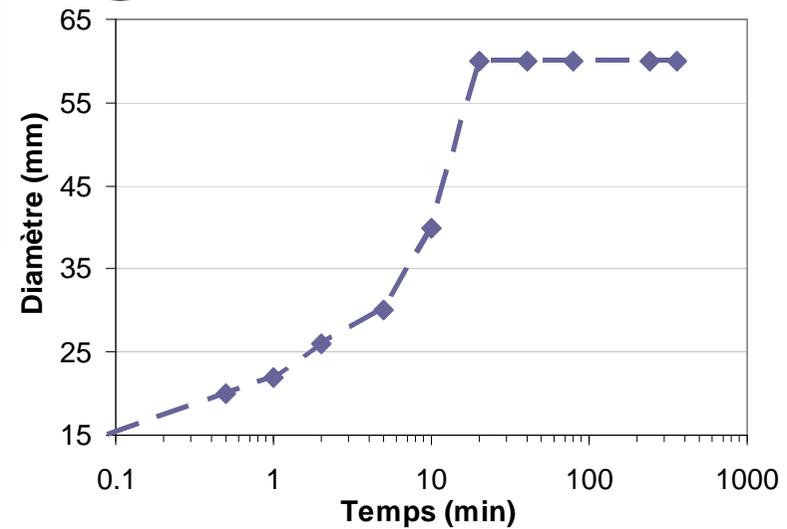
$$\delta h(t) = 0$$



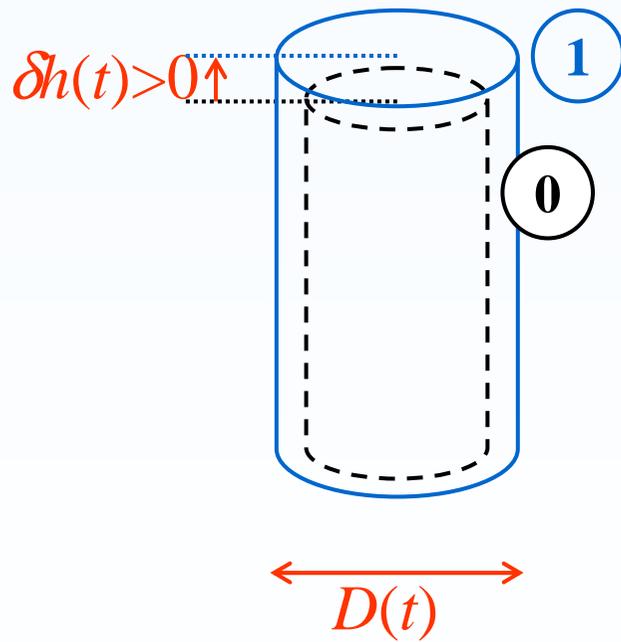
① état initial



①

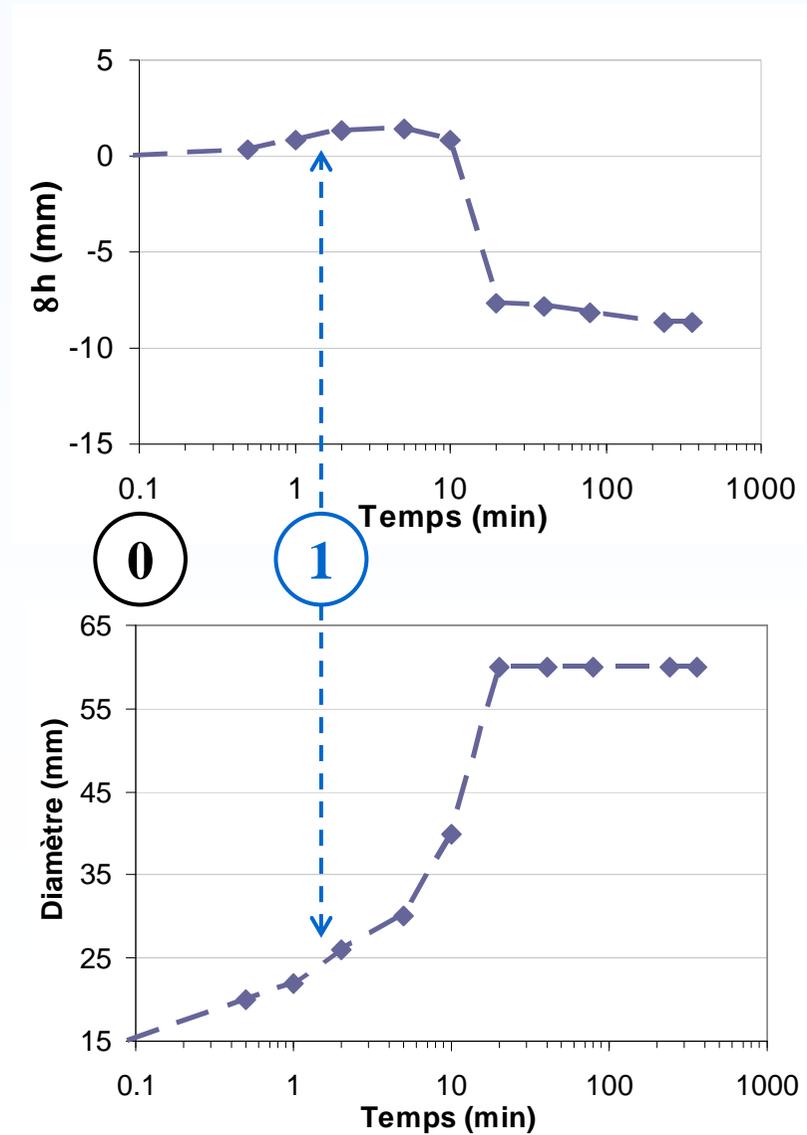


Nouvel essai d'émiettage

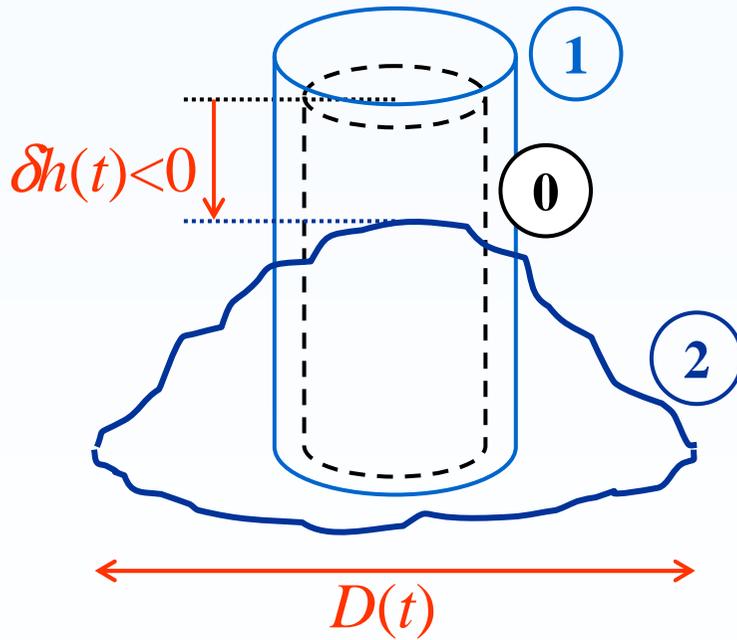


0 état initial

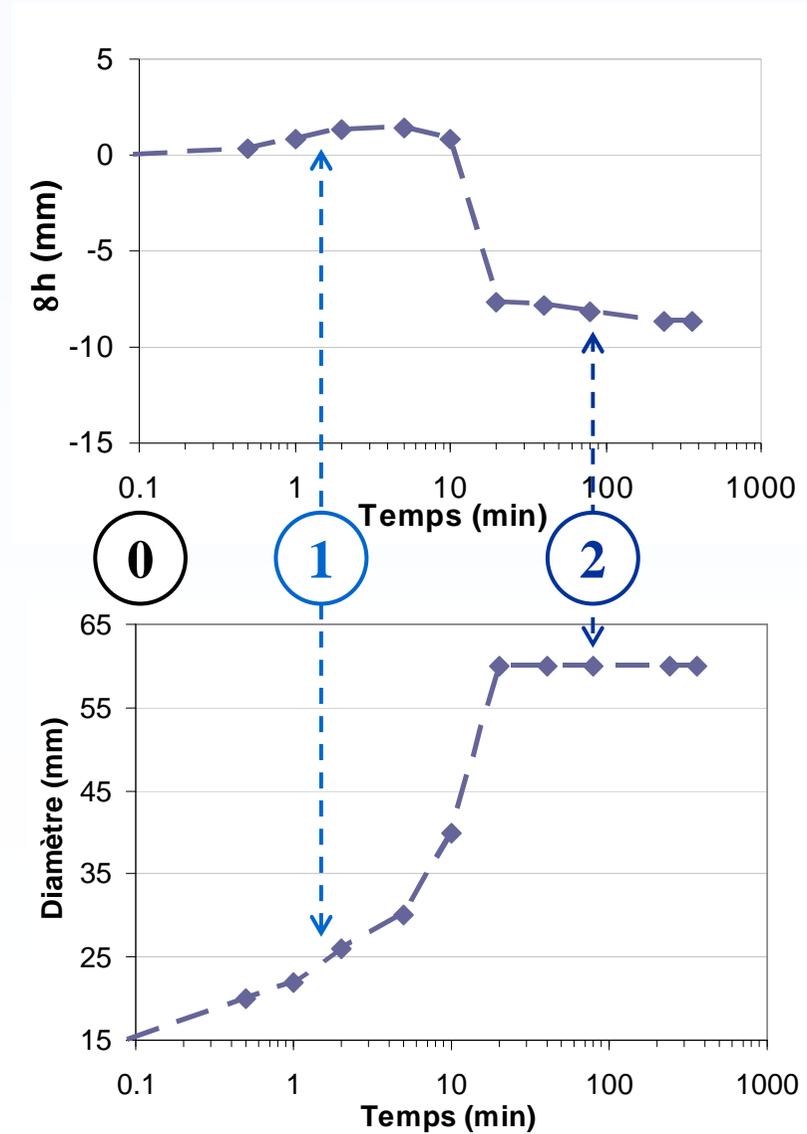
1 hydratation / gonflement



Nouvel essai d'émiettement

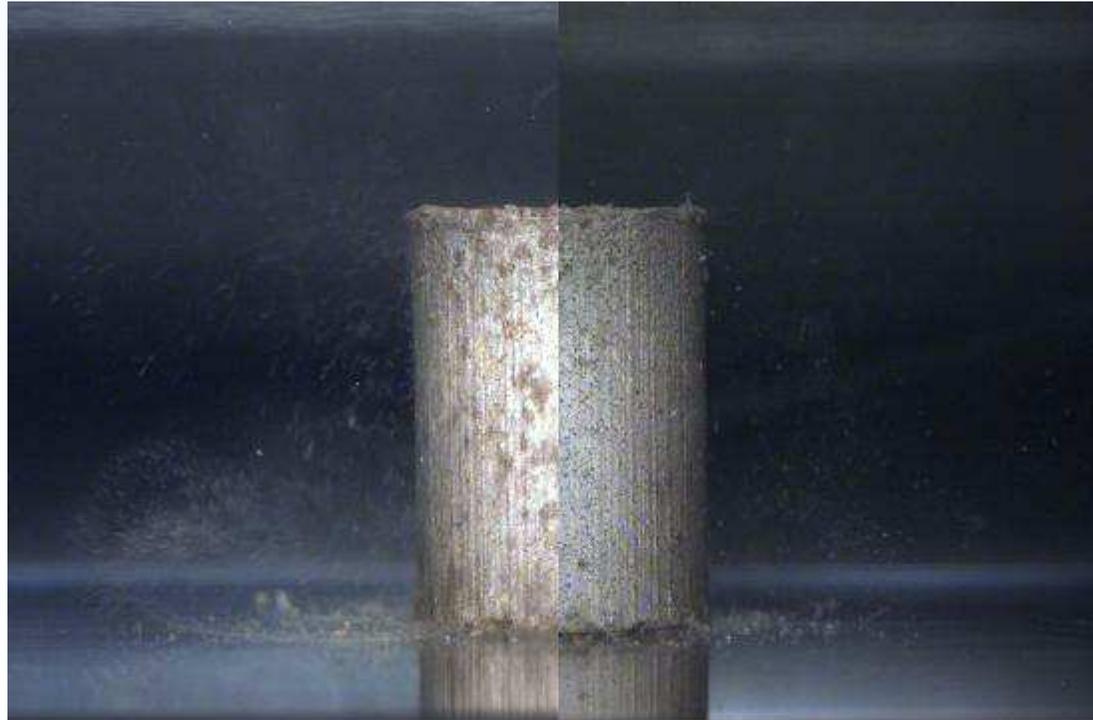


- ① état initial
- ② hydratation / gonflement
- ③ affaissement / dispersion



Exemples d'essais

- ◆ Texture argilo-limoneuse
K45L40S15
- ◆ Texture argileuse
K65L5S30

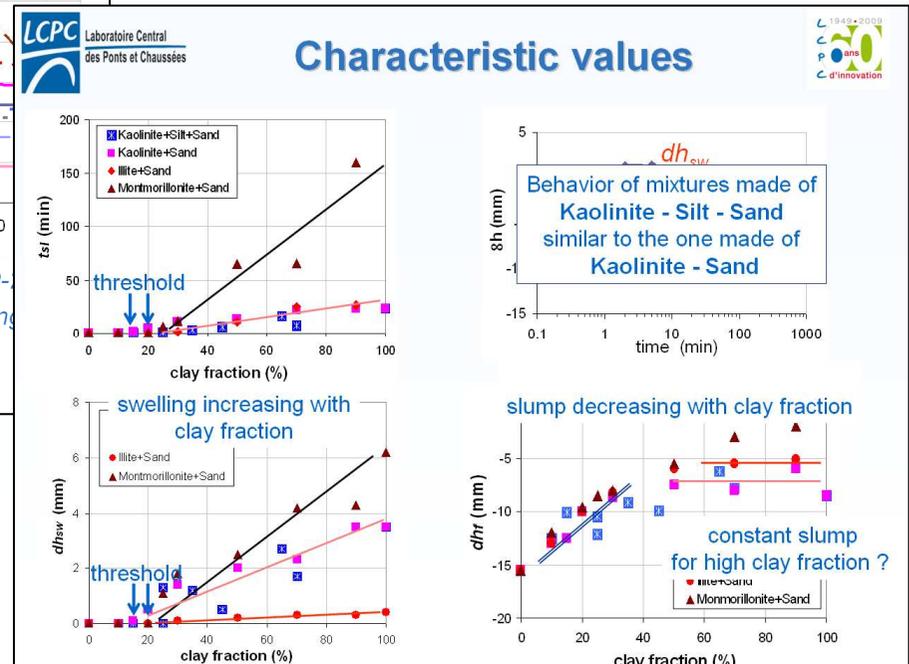
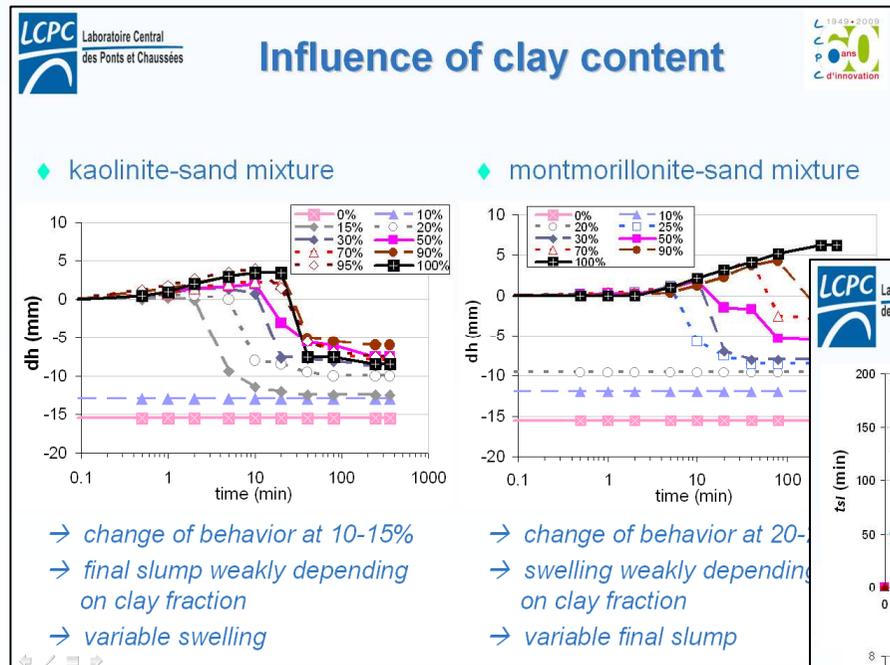


temps d'essai :
25 minutes

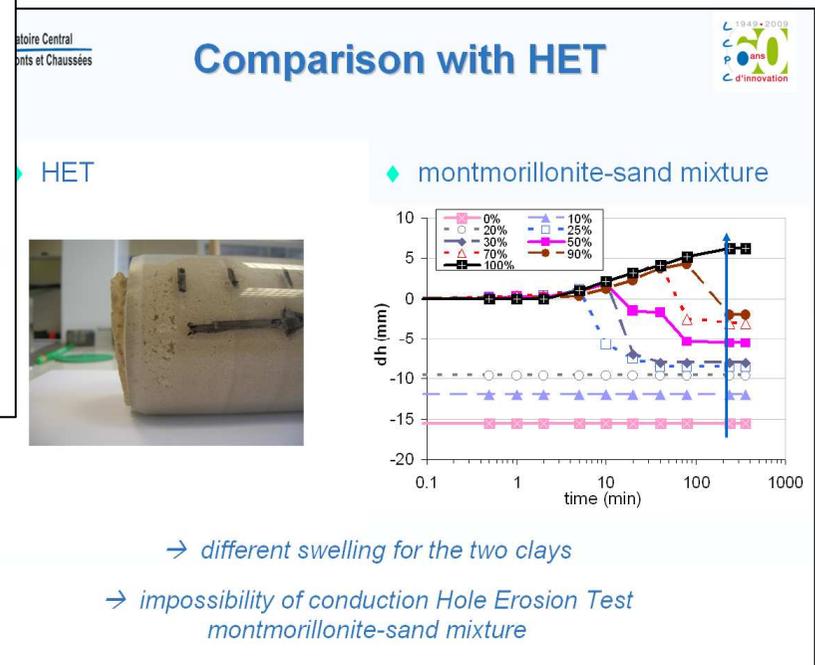
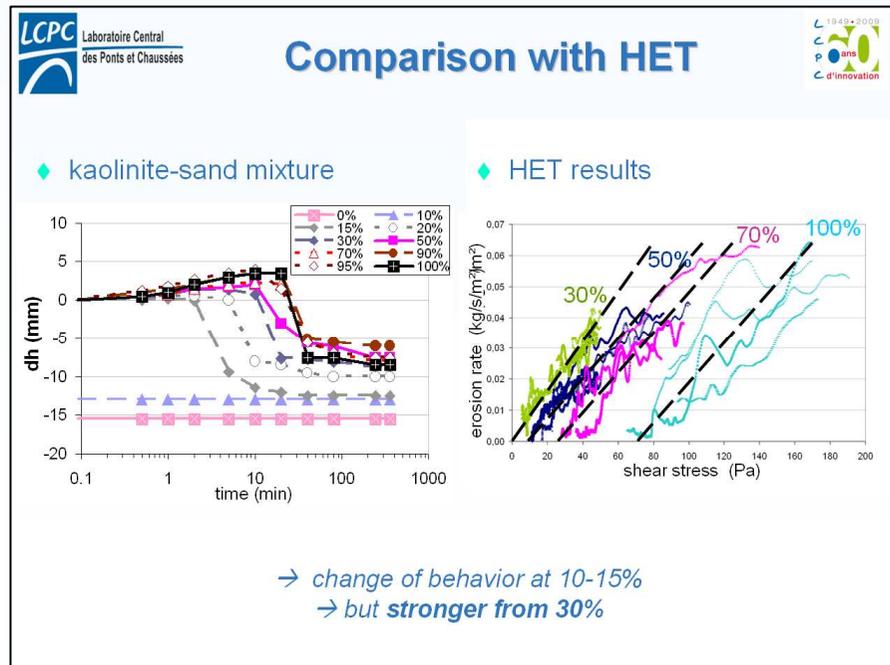
↓ état initial
hydratation / gonflement
↓ affaissement / dispersion

→ *Comportement similaire mais caractéristiques différentes*

◆ Etudes paramétriques (sol et eau)

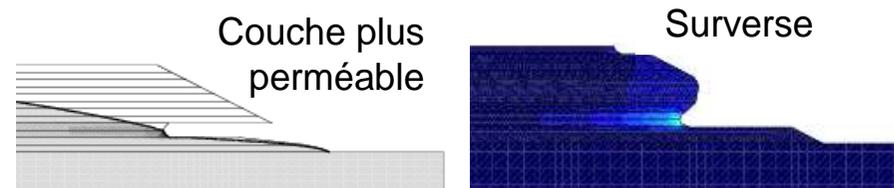


◆ Comparaisons avec d'autres essais (HET)



Conclusions

- ◆ Essais caractérisant l'érosion et/ou la dispersion
 - in situ (MoJET)
 - en laboratoire (MoJET – HET – Essai d'émiettage)
- ◆ Essais de différentes natures
 - géotechniques
 - mécaniques
 - physico-chimiques
- ◆ Meilleure compréhension sur le rôle :
 - de la fraction argileuse
 - du fluide érodant
 - de la nature des argiles
- ◆ Diagnostic de la sensibilité à l'érosion des ouvrages en terre
- ◆ Alimentation de modèles de calcul grâce à la prise en compte de l'érosion





Laboratoire Central
des Ponts et Chaussées



Merci de votre attention

des questions ?

Contacts : C. Chevalier christophe.chevalier@lcpc.fr
Ph. Reiffsteck philippe.reiffsteck@lcpc.fr



Journée technique du 9 décembre 2009
Érosion et ouvrages géotechniques