

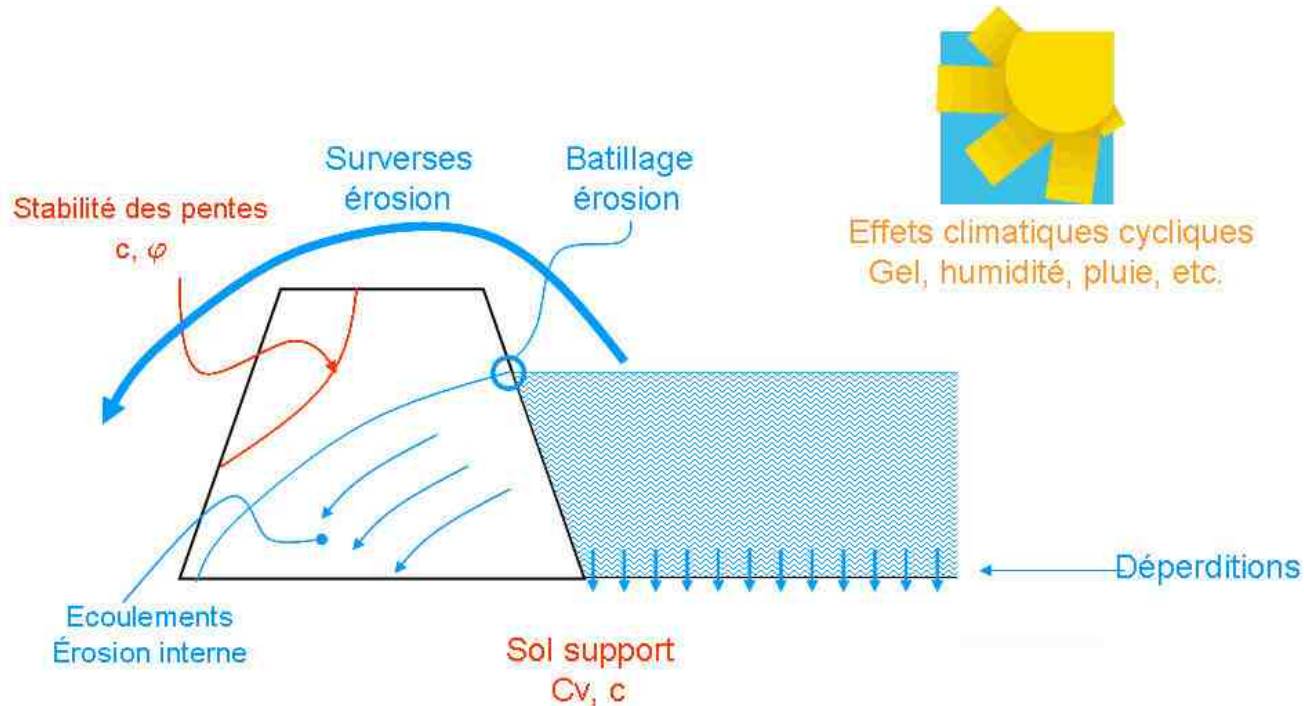
Une digue protège une maison lors d'une inondation de la rivière Yazoo , le 18 mai 2011, près de Vicksburg (Mississippi).
(Scott Olson/Getty Images)



Propriétés des sols traités à la chaux et contexte hydraulique

Gontran Herrier
Lhoist Recherche et Développement

Séminaire ASYBA – AREAS – CEREMA
Rouen, 19 mars 2014



- *Pour que les matériaux constitutifs assurent les fonctions de l'ouvrage hydraulique et puissent garantir une pérennité :*
- 3 groupes de propriétés sont à évaluer :
 - ◆ Stabilité mécanique
 - À la construction
 - A terme
 - ◆ Perméabilité / étanchéité
 - ◆ Sensibilité à l'eau et résistance à l'érosion

Quelques références du XX^e siècle

- Utilisation du traitement de sol à la chaux référence pour :
 - Traitement des sols dispersifs
 - Questions de stabilité (Friant-Kern)
 - Parfois pour lutter contre l'érosion interne

Country	Amount of hydrated lime	Type of test	Curing	Problem	Structure type and location where treated soils placed	Remarks	Reference
New South Wales, Australia	0.5%	Small scale dam model investigation	Not provided	Tunneling failure due to dispersion	Upstream face of the embankment	Recommended to compact the soil to 80% of max. dry density	Rosewell 1977
Canada	1%	Pinhole test	Not provided	Erosion of sensitive marine clay	Dyke's foundation	Reported that lime acted as cementing agent	Dascal and Hurtubise 1977
New Mexico	4%	Pinhole test	Minimum of 4-day curing	Internal erosion of dispersive soils	Fractured sandstone foundation of Los Esteros dam	Recommended to cure soil-lime mix in loose state at near OMC* before the placement and compaction	McDaniel and Decker 1979
Mississippi, USA	2-3%	Laboratory dispersion test	Minimum of 2-day curing	Surface erosion	Slopes of dams	Recommended to cure soil-lime mix in loose state before the compaction	Perry 1977

Propriétés mécaniques

- ◆ Les effets de la chaux sont connus et référencés de par l'expérience "routière"
 - *Pendant la construction* : capacité portante améliorée
 - *Compressibilité (C_v)* :
 - Réduction des tassements
 - *Résistance au cisaillement* :
 - Accroissement de la cohésion, angle de frottement stable (c et φ)
 - Stabilité mécanique, raidissement des pentes
 - *Moyen à long terme* : *résistance en compression et en traction*

- ◆ Le matériau sol-chaux se comporte, à la mise en oeuvre, comme un sol dont la maniabilité rend les opérations aisées.

- ◆ Par la suite, le matériau compacté se comporte comme un matériau "cimenté", dont les propriétés mécaniques sont intermédiaires entre un sol et une roche.



Comportement au retrait-gonflement

- ◆ Stabilité volumique – retrait et gonflement des sols argileux
 - Diminution du risque et de l'ampleur
 - Déplacement de la limite de retrait au-delà de l'OPN

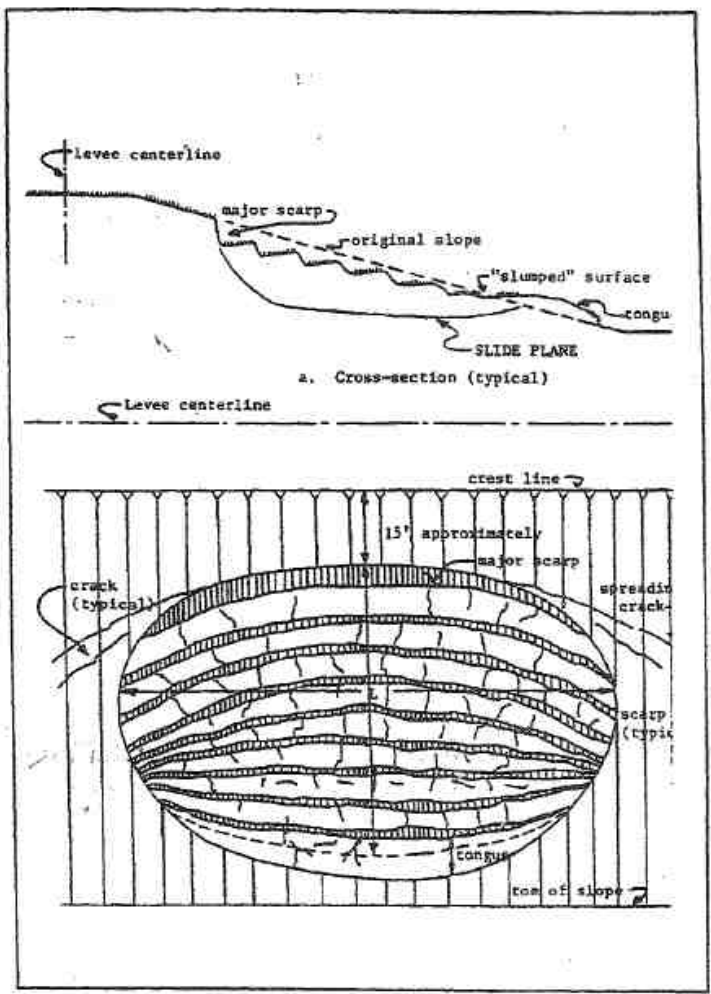
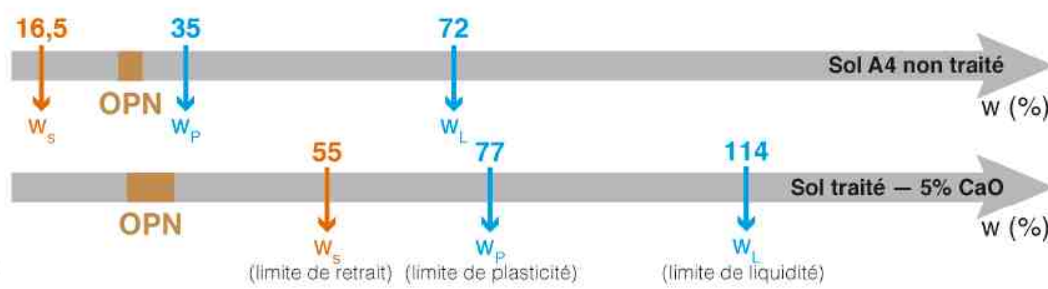


Figure 1. Typical slough slide: (a) cross section; (b) plan view



- La chaux n'est pas sujette à lixiviation hors des structures traitées
- Pas de risques de toxicité pour la faune et la flore selon les données Reach et Echa
- La revégétalisation des massifs et l'intégration paysagère sont possibles
 - Recouvrement par terre végétales)



Croissance végétale sur un massif en sol traité à la chaux



Critères hydrauliques : perméabilité

- ◆ Peut être perçue comme un problème :
 - *Spécifications du CCTG "Construction des petits barrages e terre"*
 - "Le traitement à la chaux des matériaux humides n'est pas recommandé (...) à cause de l'abaissement de la densité Proctor, et donc l'accroissement de la perméabilité (...).
- ◆ Etablissement d'une méthodologie spécifique pour le traitement et la mise en oeuvre des sols traités

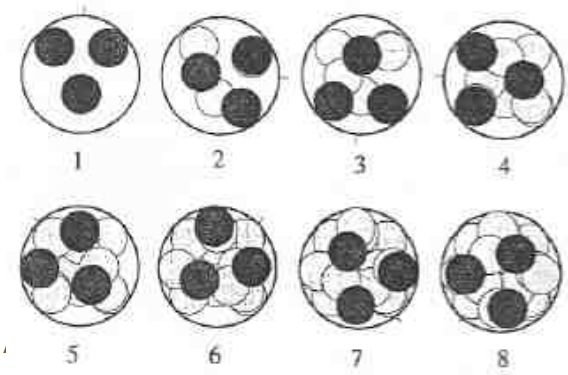
Niveaux de perméabilité similaires aux sols non-traités

- Ajustement de la teneur en eau : côté humide
- Compactage par pétrissage (pieds dameurs)

- $k \leq 10^{-9} \text{ m/s}$



Figure 14. Outil de pétrissage à 3 pieds.



Essai Crumb-test amélioré (IFSTTAR 2011)

- limon $I_p = 11$ non traité



Etat initial



5 min



15 min



45 min

- traité à 2% chaux (90 j m aturation)



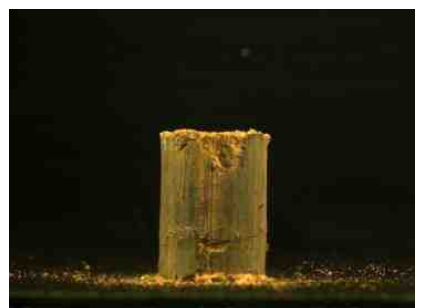
Etat initial



5 heures



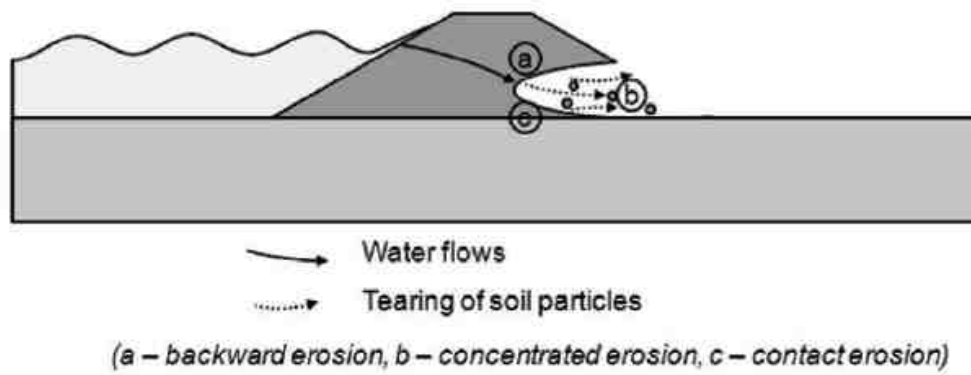
15 heures



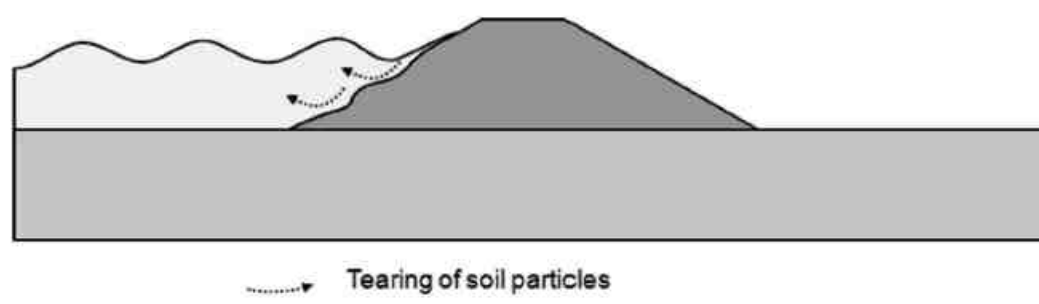
45 heures

Critères hydrauliques: résistance à l'érosion

- ◆ Erosion interne (4 mécanismes) – cheminement de l'eau à travers le corps de digue ou à l'interface entre la digue et sa fondation



- ◆ Erosion externe, côté eau

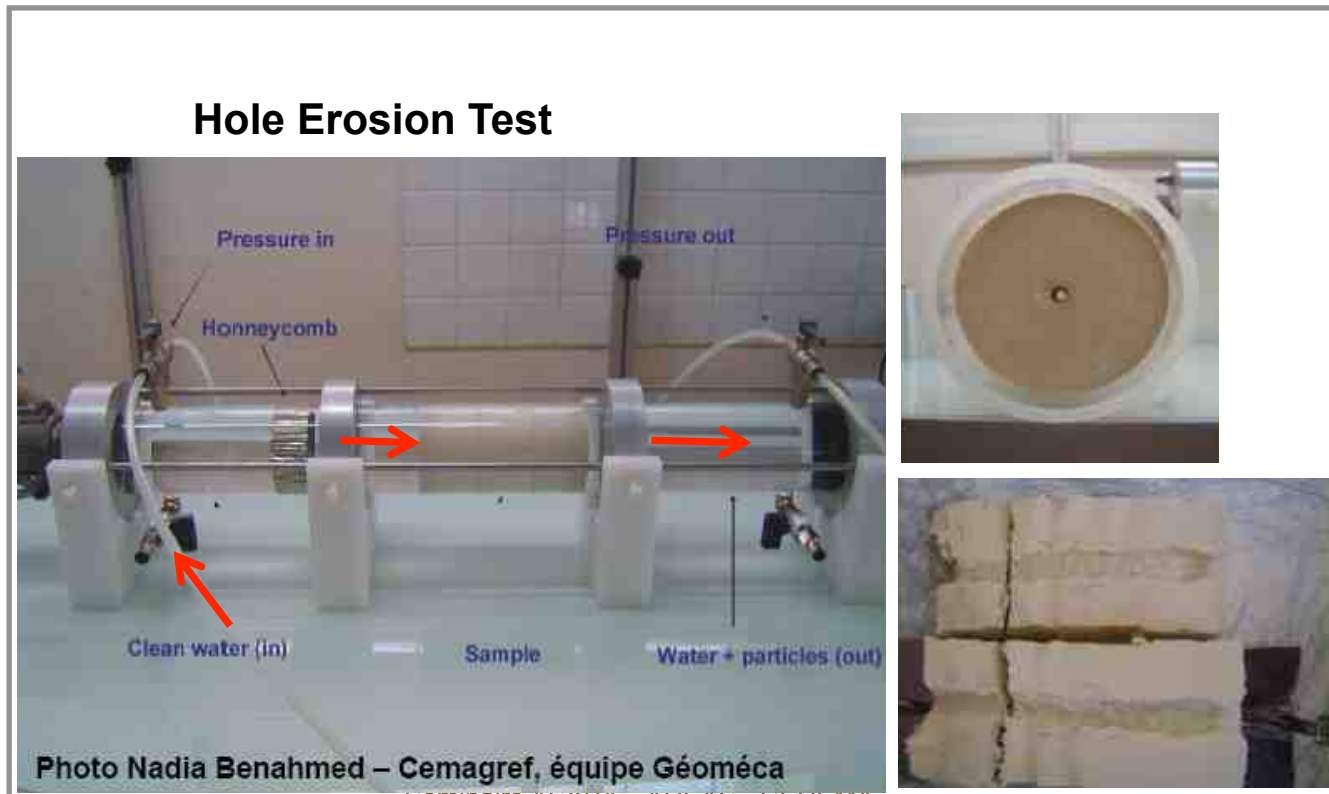


Critères hydrauliques: résistance à l'érosion interne

- ◆ Hole erosion test (Erosion de trou, HET) :

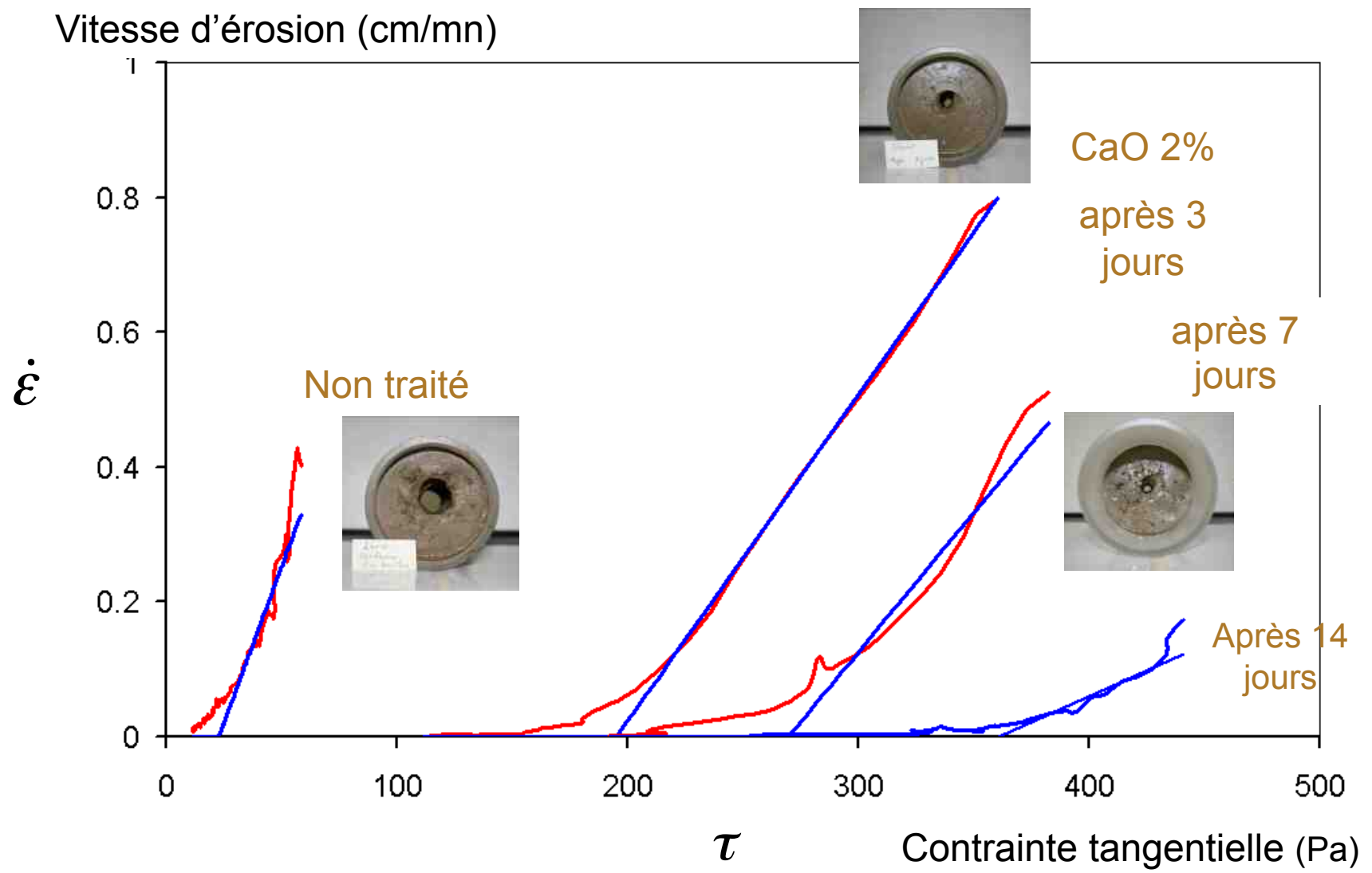
$$\dot{\varepsilon} = C_e \cdot (\tau - \tau_c)$$

Masse de sol érodé = vitesse d'érosion x (pression d'eau – contrainte critique)



Critères hydrauliques: résistance à l'érosion interne

Essais réalisés à IRSTEA (2011) – Limon argileux du Rhône, $I_p = 11$



- ◆ L'accroissement de τ_c peut également être interprété en faveur :
 - De la diminution de l'érosion le long des conduits traversants, des ouvrages béton
 - Eviter les dégâts des animaux fouisseurs

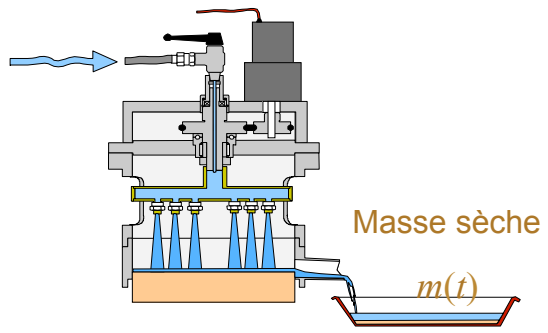


Critères hydrauliques: résistance à l'érosion externe

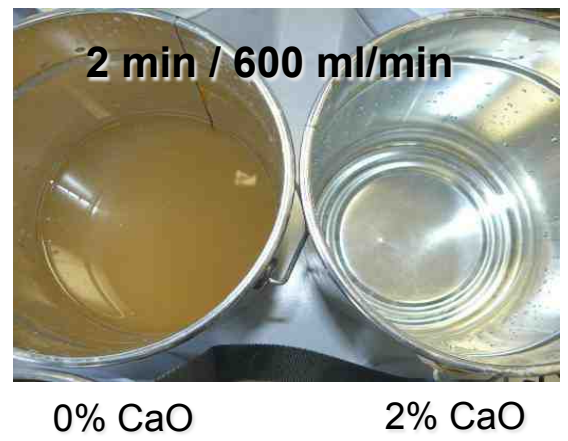
Essais réalisés par IFSTTAR (ex-LCPC) en 2011

Mobile Jets Erosion Test (MoJET)

Limon I_p = 11 non traité et traité(90j de cure)



Méthode usuelle : débit d'eau 600 ml/min



Méthode modifiée : débit d'eau 2000 ml/min



Limon traité à 2% CaO

- ◆ Résistance à la surverse, via des essais en grandeur réelle
 - Automne 2014 : confortement de digue sur l'Escaut (Belgique)
 - Eté 2014 : construction d'une digue en sol local traité à la chaux (sud de la France)
- ◆ Considérations sur la conception des digues résistantes



DredgDikes project, Rostock (Germany)

Conclusions

- ◆ En plus des avantages reconnus (maniabilité, portance), le traitement des sols à la chaux permet d'obtenir :
 - Un niveau de perméabilité proche de celui des sols naturels lorsque le compactage se fait par pétrissage, à l'état humide
 - Une stabilité mécanique accrue
 - Une résistance à l'érosion interne et externe
 - Une réduction des risques de retrait-gonflement
 - augmentation de la limite de retrait
 - diminution de l'amplitude des déformations

- ◆ Méthodologie préconisée dans le cas de la réalisation d'ouvrages hydrauliques homogènes en sol traité à la chaux :
 - Traitement en centrale permettant d'ajuster la teneur en chaux et en eau,
 - Compactage avec un cylindre à pieds dameurs.