

Géotechnique des sols traités

Durabilité des effets du traitement

Olivier Cuisinier

*Laboratoire Environnement, Géomécanique & Ouvrages
Nancy-Université*

Notion de durabilité

- Définition générale :
 - « aptitude d'un bien à accomplir une fonction jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint »
 - « durée d'utilisation d'un bien »

- Problématique pour le cas des sols traités :
 - L'amélioration du comportement résulte de processus physico-chimiques (floculation, composés cimentaires, etc.)
 - Stabilité des produits de réaction ?

 - Impact des sollicitations environnementales ?
 - Monotone (par ex. circulation d'eau)
 - Cyclique (par ex. climat, trafic)

 - Si oui, comment évoluent les propriétés géotechniques d'un sol traité ? Comment limiter ces évolutions ? ...

Peu de données existantes sur la durabilité des sols traités

Deux exemples

- Influence de sollicitations hydriques cycliques sur le retrait / gonflement d'une argile traitée à la chaux

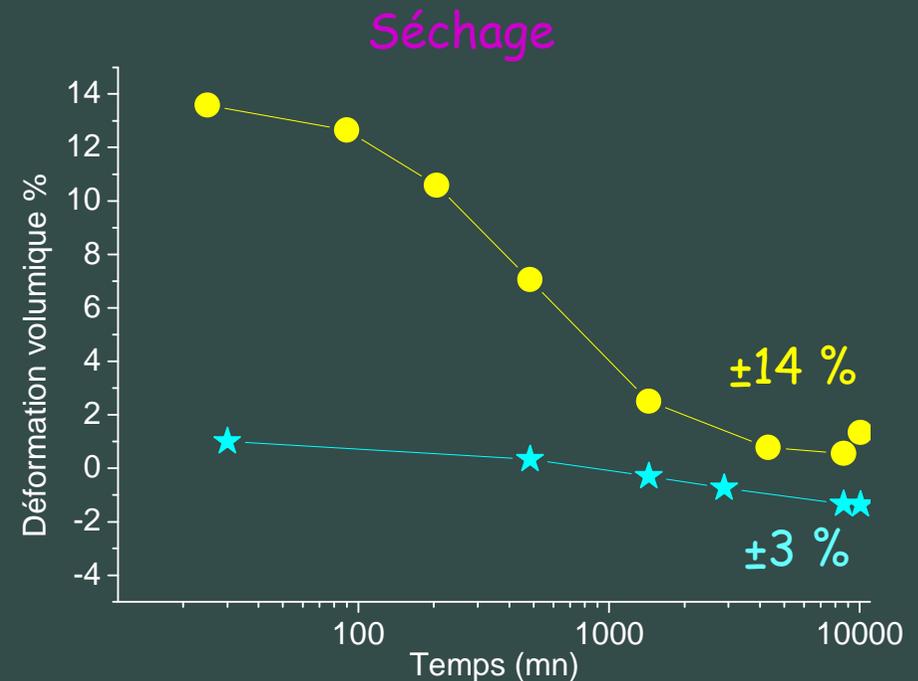
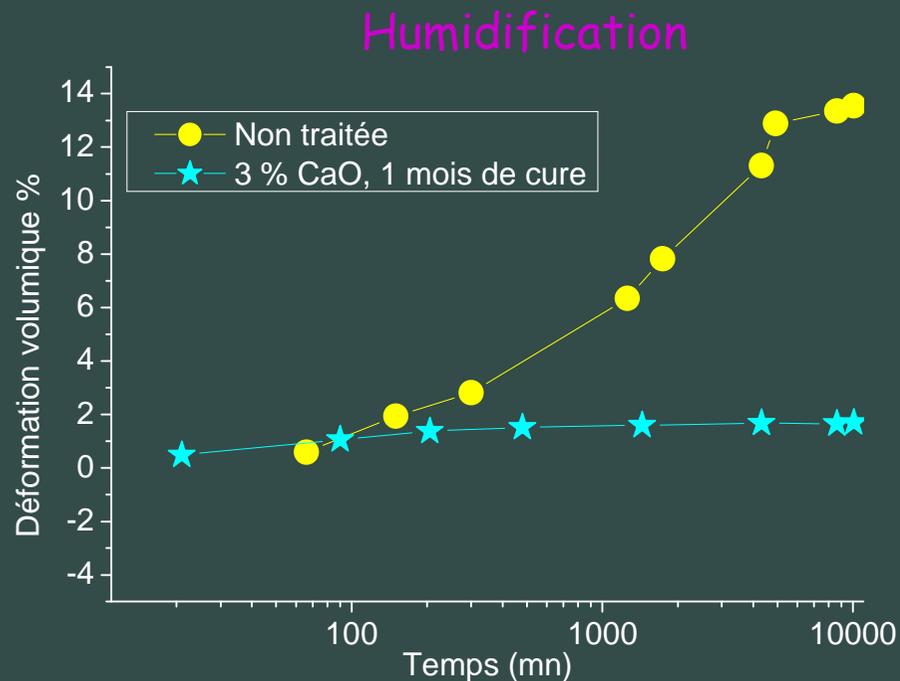
- *Cuisinier, O. & Deneele, D. 2008. Long-term behaviour of lime-treated expansive soil submitted to cyclic wetting and drying. First European Conference on Unsaturated Soil, 327-333.*

- Influence d'une circulation d'eau sur la résistance au cisaillement d'un limon traité à la chaux

- *B. Le Runigo (thèse soutenue le 23 octobre 2008) : « Durabilité du limon de Jossigny traité à la chaux et soumis à différentes sollicitations hydriques : comportement hydraulique, microstructural et mécanique. »*

Retrait / gonflement

- Argile A34 ($w_L = 98,1 \%$, $I_p = 61 \%$)
- Impact à court terme de l'ajout de chaux (OPN) :



Efficacité à court terme → fatigue liée à la succession de cycles ?

Retrait / gonflement

■ Comment reproduire un cycle hydrique ?

□ Étuve, immersion totale

(Khattab et al. 2007; Guney et. al 2007)

→ Disparition rapide des effets du traitement

□ Remarques :

- Très éloigné de la réalité
- Très pénalisant (cinétique, gradient)

□ Techniques de mécanique des sols non saturés

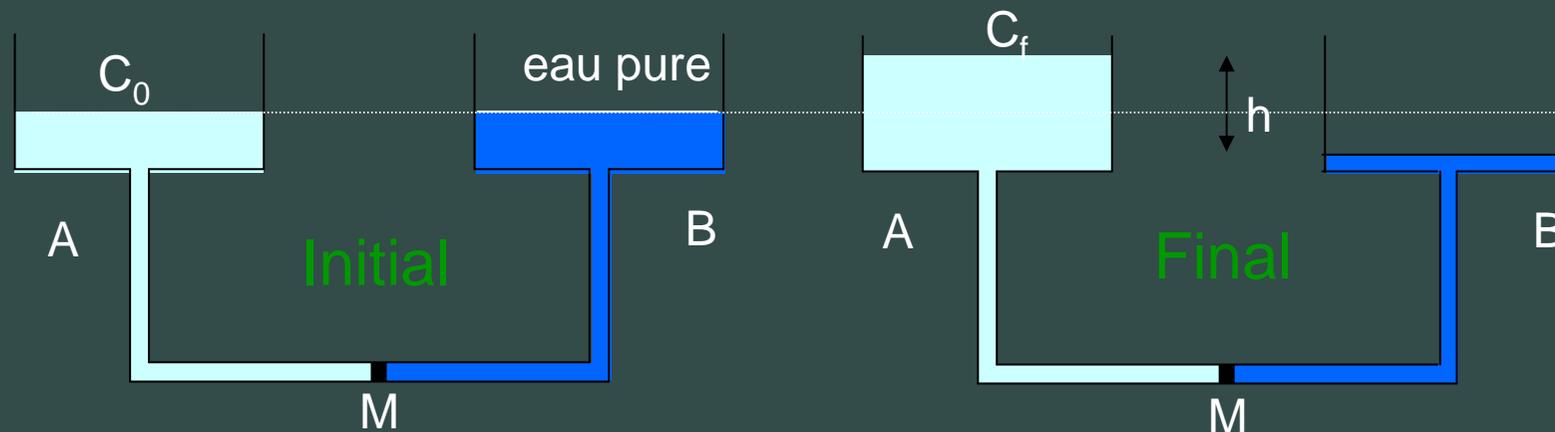
- Maîtrise des conditions hydriques
- Amplitude plus réaliste des sollicitations
- Plus fidèles à la réalité

■ Méthodes de mécanique des sols non saturés

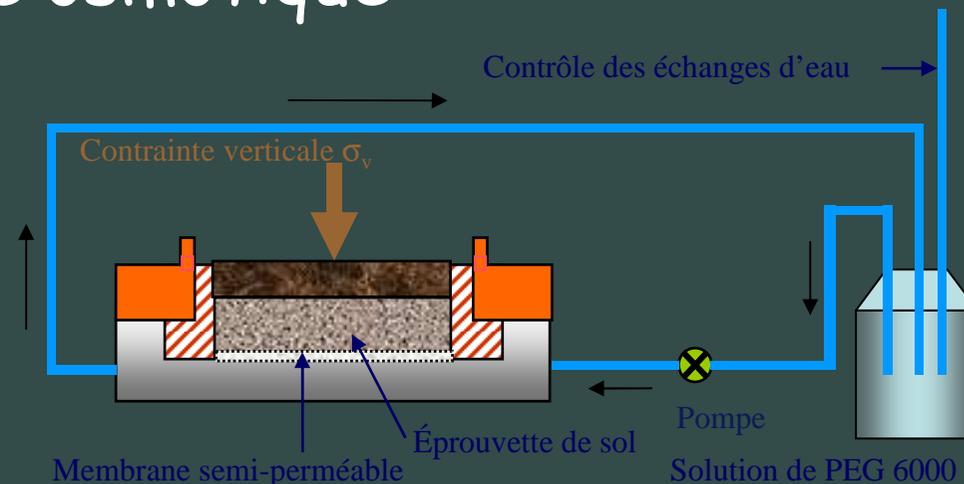
- Osmotique (succions comprises entre 0 et 8,5 MPa)
- Solutions salines (succions comprises entre 8,5 et $\times 100$ MPa)

Retrait / gonflement

- Principe de la méthode osmotique
 - maîtrise de la succion (teneur en eau)

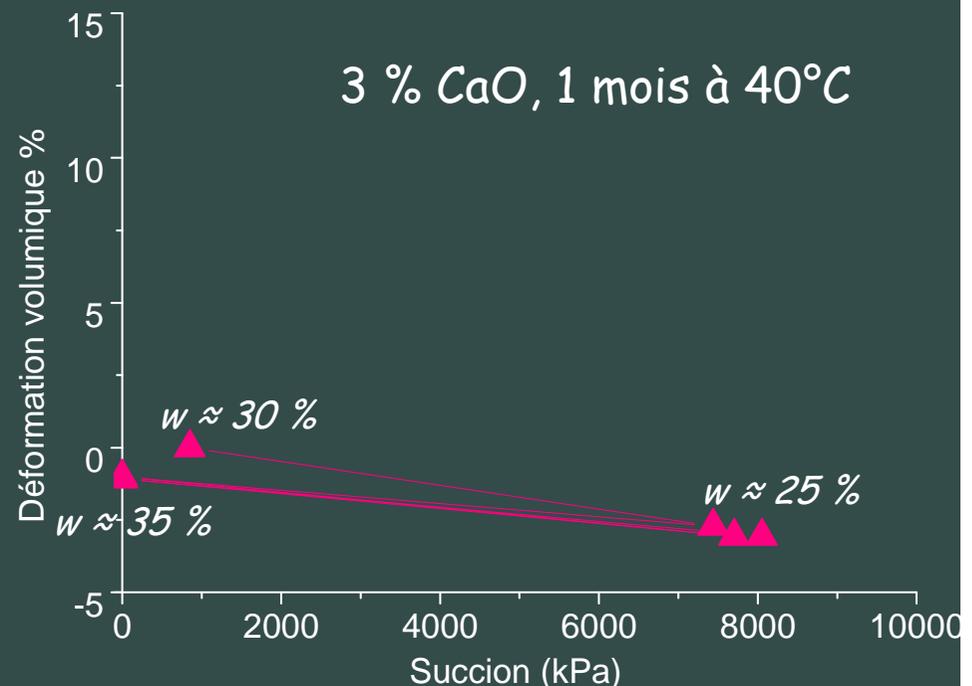
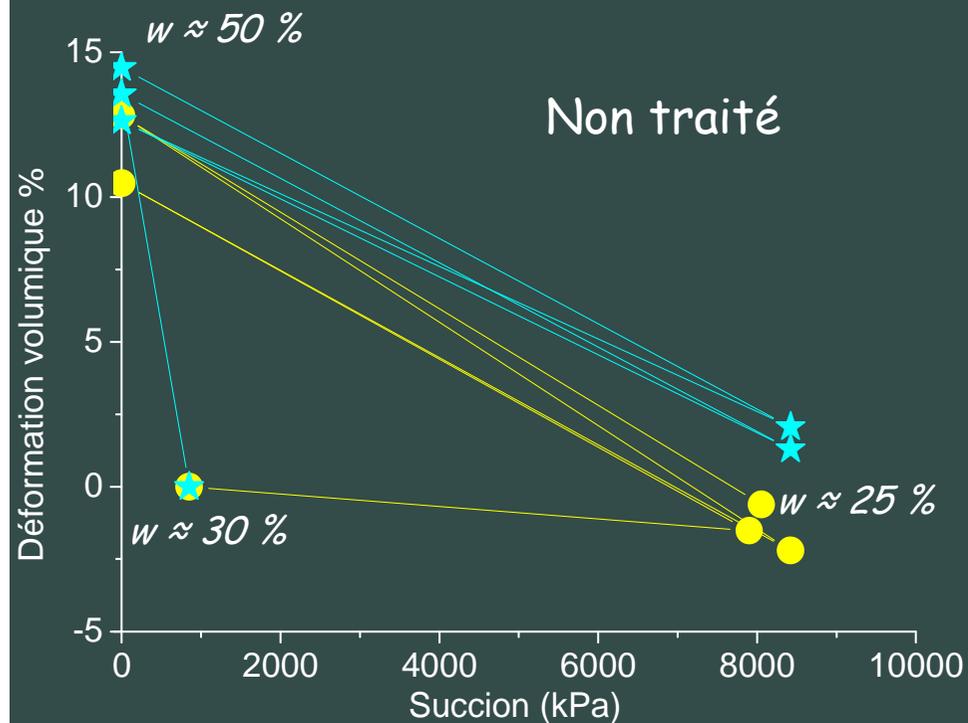


- Oedomètre osmotique



Retrait / gonflement

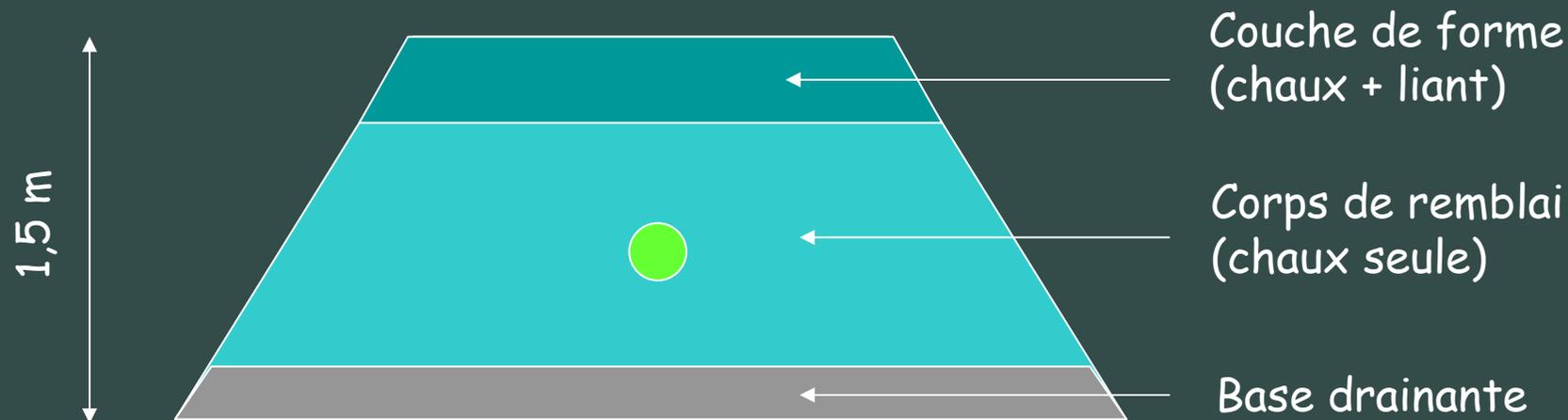
- Influence de la succession de cycles hydriques
 - Éprouvettes préparées en laboratoire (OPN)



Pas de perte d'efficacité dans ces conditions de sollicitation !

Retrait / gonflement

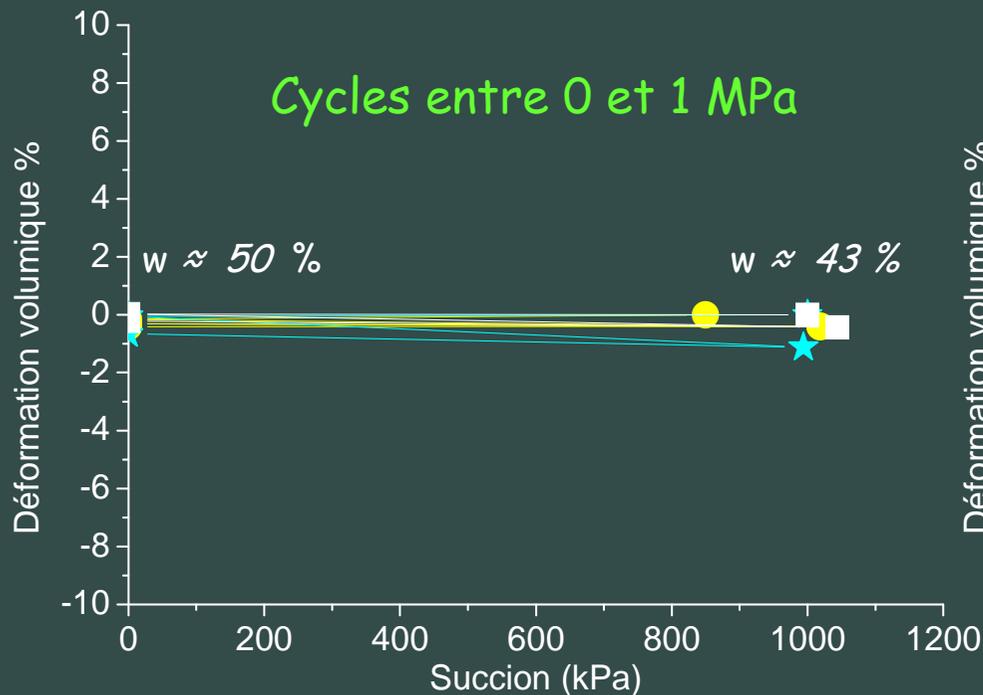
- Remblais expérimentaux A34 (réalisés en 2003)



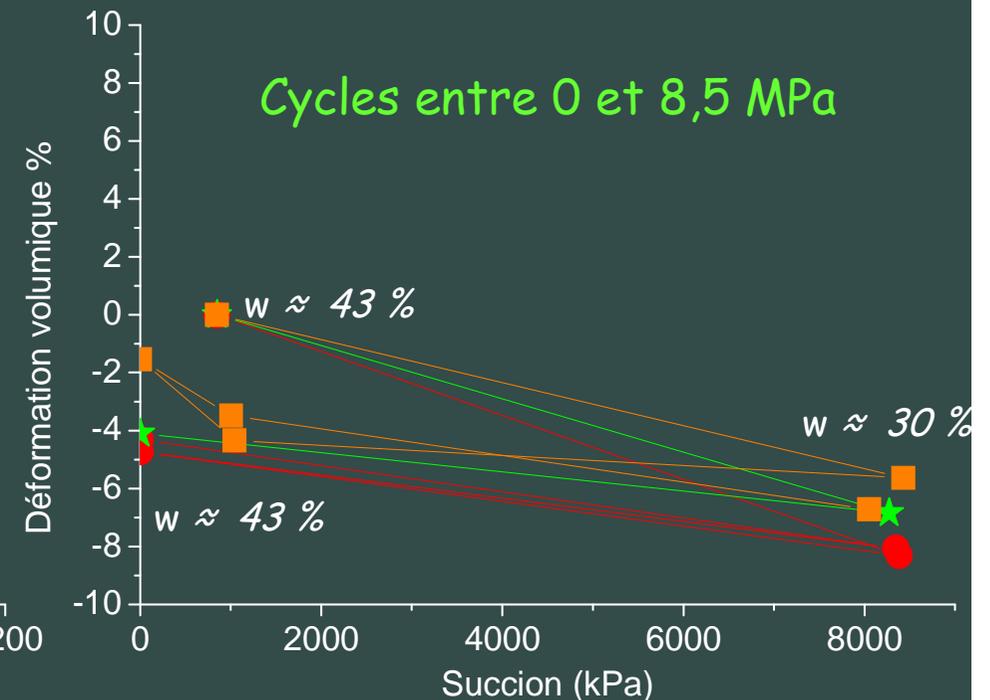
- État du corps de remblai en 2007 ???
 - Caractérisation *in situ*
 - Prélèvements par LRPC dans la zone traitée à 3 % de CaO
 - Potentiel de retrait / gonflement au cœur du remblai ???

Retrait / gonflement

- Influence de l'amplitude des cycles hydriques



Retrait / gonflement \approx nul



Retrait / gonflement $\approx \pm 8 \%$

Perte d'efficacité du traitement à la chaux en 3 ans (-50 %) !
 Importance de l'amplitude des cycles hydriques !

Retrait / gonflement

■ Conclusions

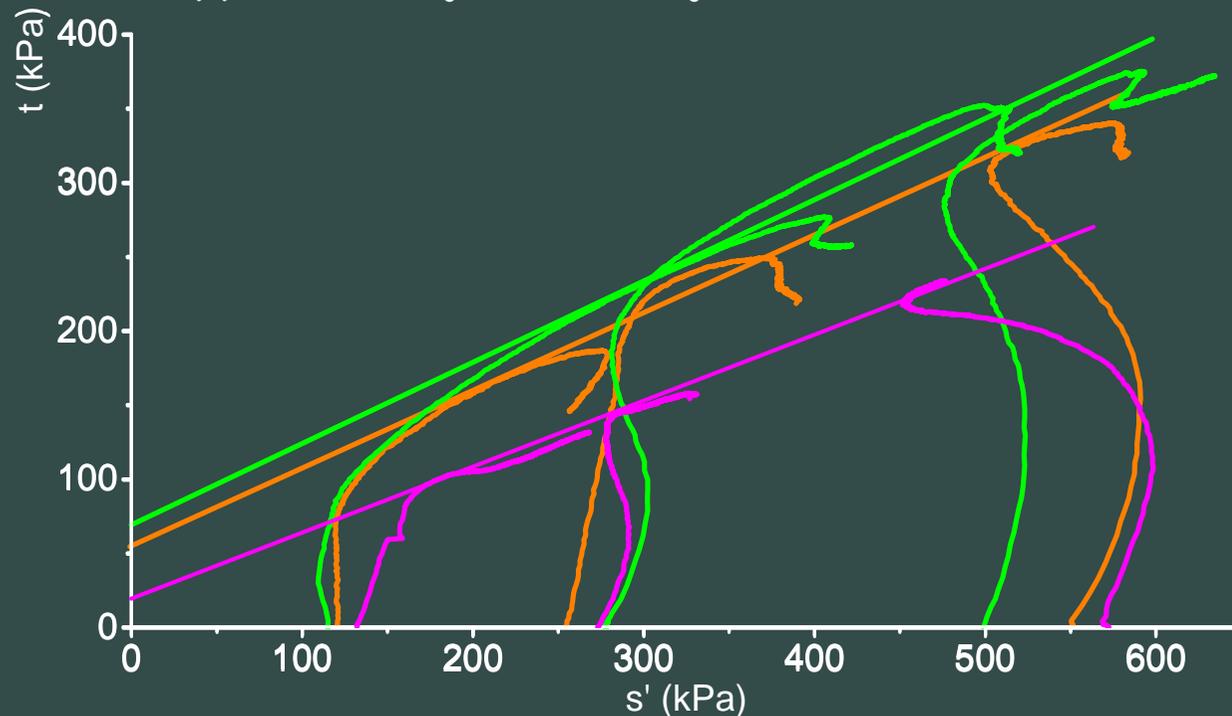
- Efficacité à court terme du traitement sur le retrait / gonflement liée à l'amplitude du cycle hydrique
 - Importance de la localisation de la couche traitée dans l'ouvrage !
- Mise en évidence d'une altération des effets du traitement sur site après 3 ans de vie

■ Questions en suspens pour la durabilité

- Impact éventuel des conditions initiales (densité, teneur en eau, temps de cure...)?
- Apport d'un traitement au ciment ?
- ...

Résistance au cisaillement

- Limon de Jossigny ($w_L = 37,0 \%$, $I_p = 18,3 \%$)
- Apport à 90 jours de l'ajout de chaux (essais triaxiaux CU + u)



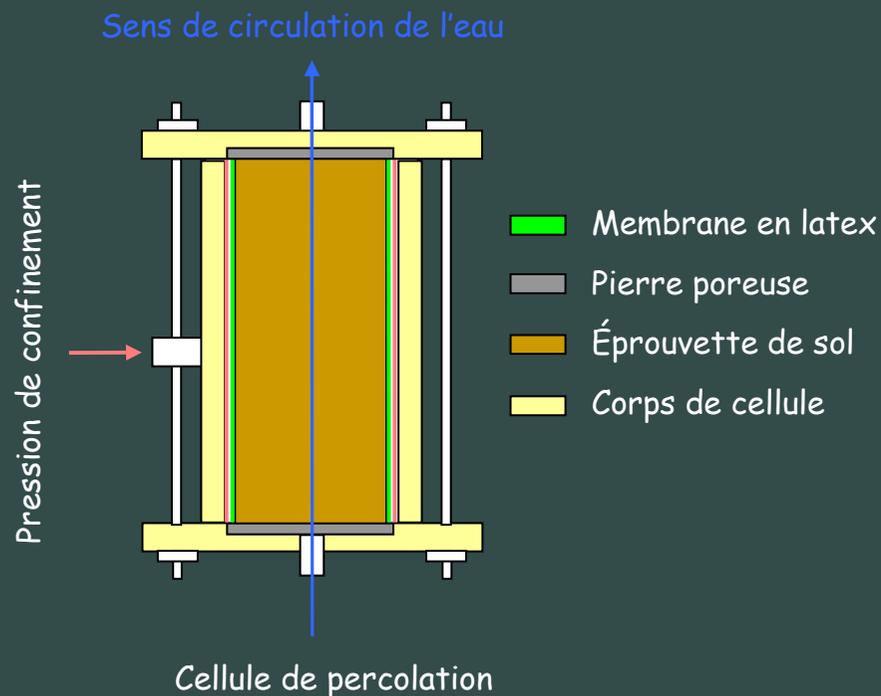
CaO (%)	ϕ' (°)	c' (kPa)
0	27	19
1	32	60
3	33	74

- Performances stables à partir de 1 % de chaux !
- 3 % inutiles pour une performance à 90 jours

Quel est l'effet d'une circulation d'eau ?

Résistance au cisaillement

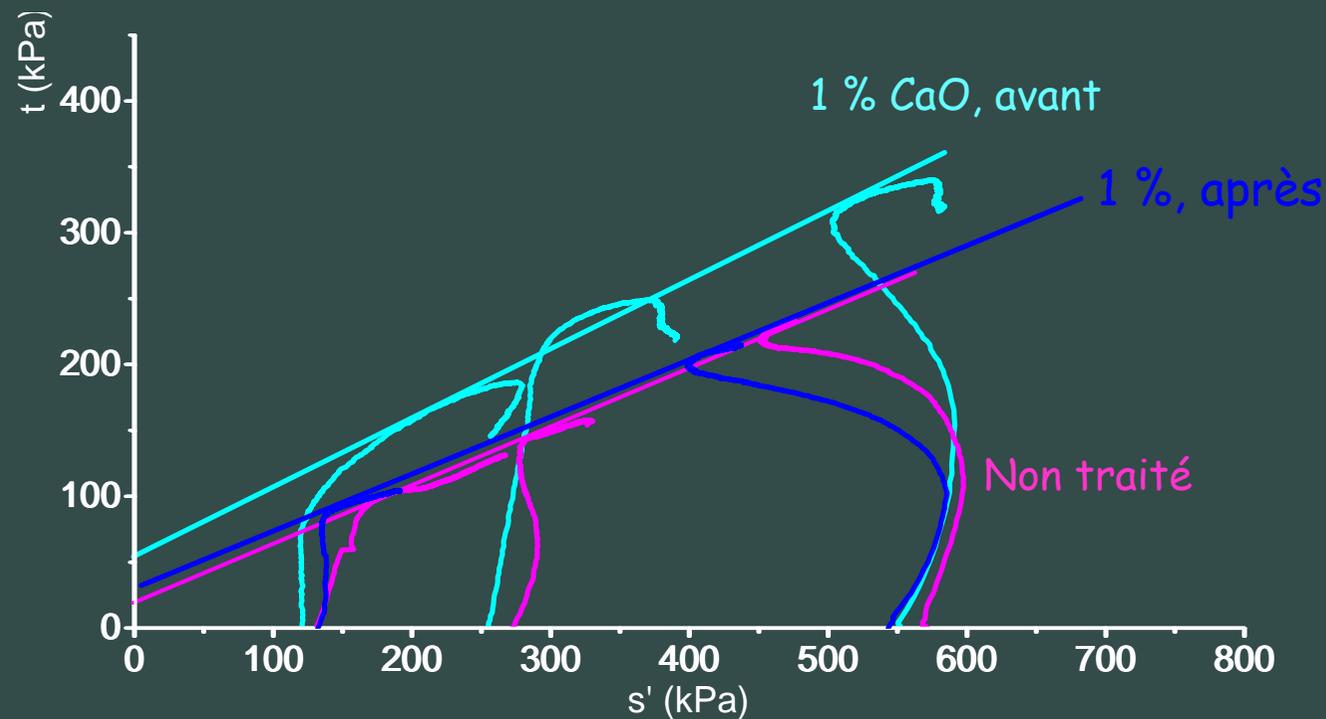
- Comment simuler une circulation d'eau ?
 - Choix = perméamètre à paroi flexible



Charge hydraulique = 8 m
Gradient = 80
Confinement = 120 kPa
Durée max = 320 jours

Résistance au cisaillement

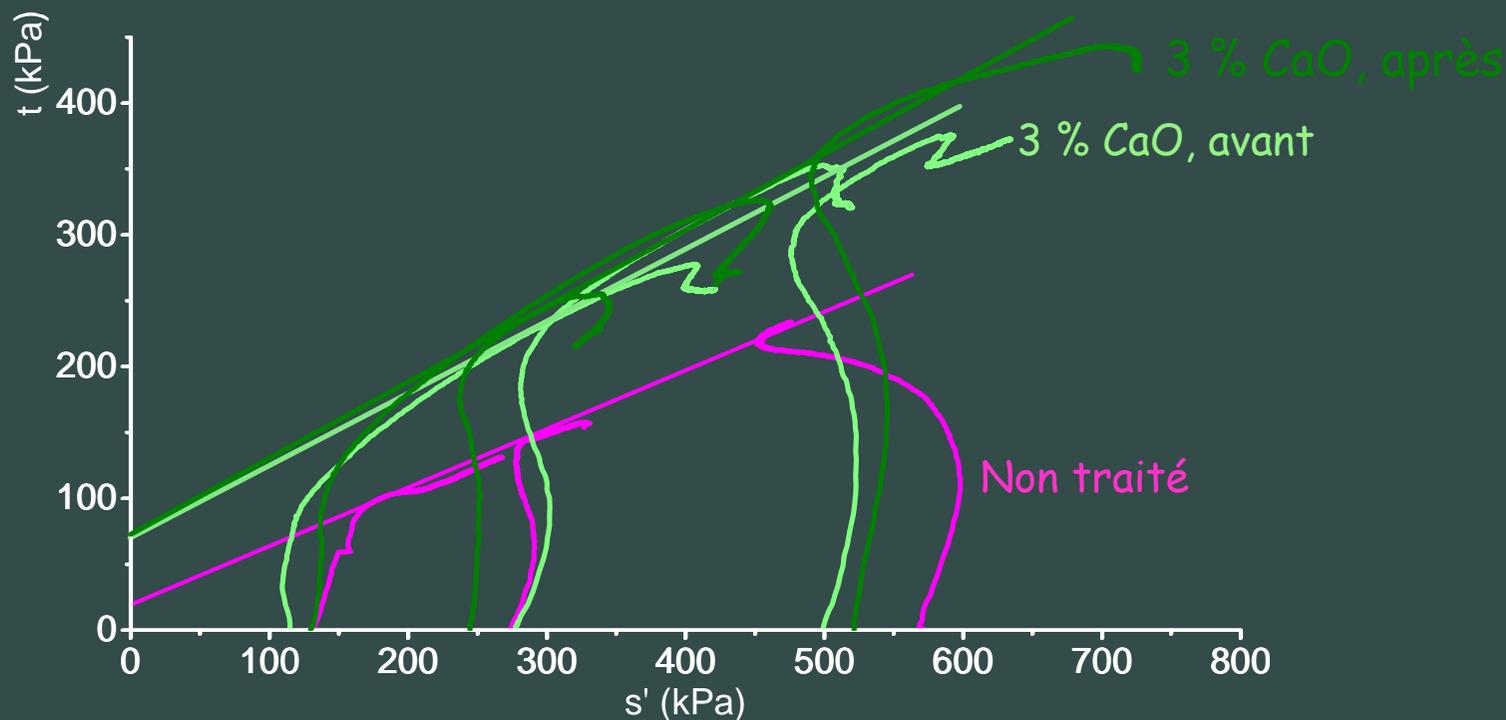
■ Influence de la circulation



Perte totale du gain de cohésion et d'angle de frottement après 150 jours de circulation

Résistance au cisaillement

- Modification du comportement suite à la circulation



Stabilité du comportement pour 3 % de CaO après 200 jours de circulation

Résistance au cisaillement

■ Conclusion

- Perte possible du gain de performance mécanique suite à une circulation d'eau
- Rôle primordial du surdosage sur la durabilité

■ Questions en suspens

- Rôle du couple gradient / perméabilité
- Nature du liant ?

Conclusion

- Les améliorations apportées par traitement sont sensibles aux sollicitations environnementales
 - Cycles hydriques
 - Circulation d'eau
- À ce stade, deux facteurs émergent :
 - Intensité de la sollicitation
 - S'approcher de la réalité
 - Conditions de préparation du sol (dosage, compactage)
 - Adapter en fonction des objectifs

Perspectives

- Nombreuses variables à caractériser pour évaluer d'une manière pertinente la durabilité
 - Conditions de préparation
 - Nature du traitement
 - Type de sollicitation
 - Etc.

Merci