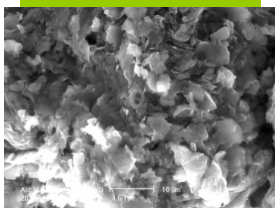


Remblais en zones humides et/ou inondables

Conséquences de l'inondation du remblai du CER Rouen

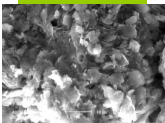
Valéry Ferber

LCPC



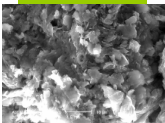
Sommaire

- Objectifs
- Tassements induits par l'humidification des sols fins compactés
- Conception et instrumentation de l'expérimentation
- Propriétés hydromécaniques du limon A28
- Conséquences des inondations du remblai
- Trois questions
- Conclusions



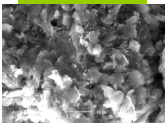
Objectifs

- Limiter les emprunts pour la constitution des bases de remblai en ZI/ZH
- Apporter des éléments pour une rationalisation de la conception
 - Prévoir les mouvements d'eau (remontées capillaires, transferts sous charge hydraulique)
 - Estimer les risques de tassement

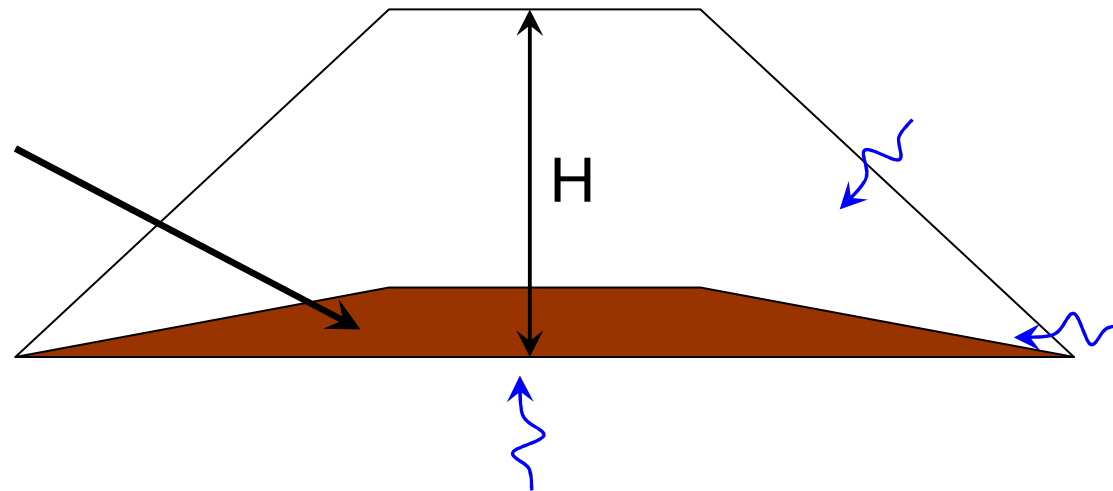


-1-

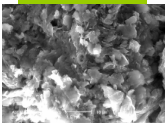
Tassements induits par l'humidification des sols fins compactés



La base des remblais

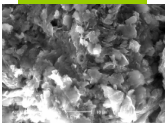
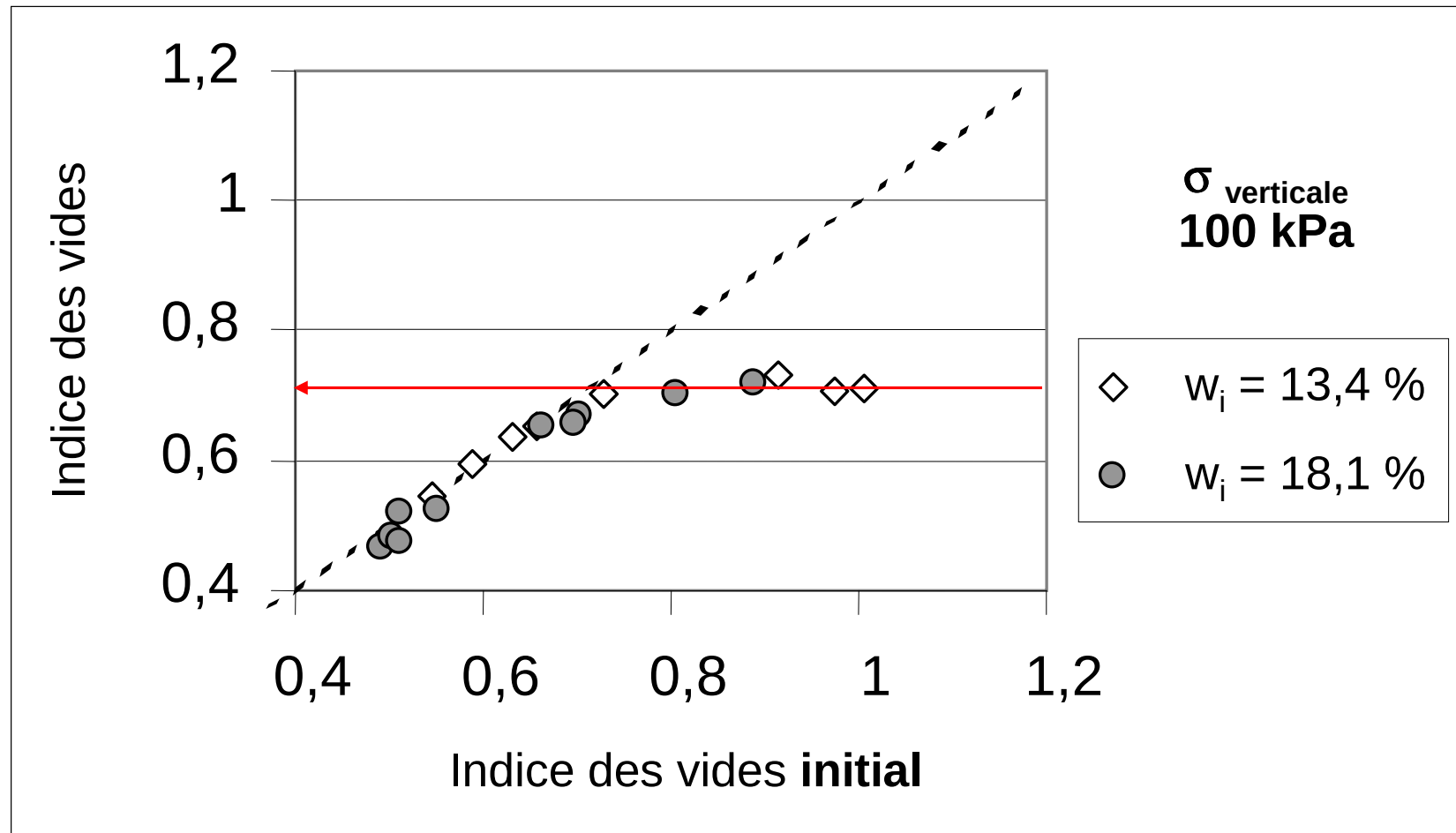


- Contrainte fonction de H (10 m → 200 kPa)
- Humidification potentielle à court (inondation) ou long terme (infiltration)



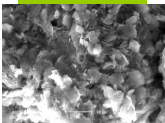
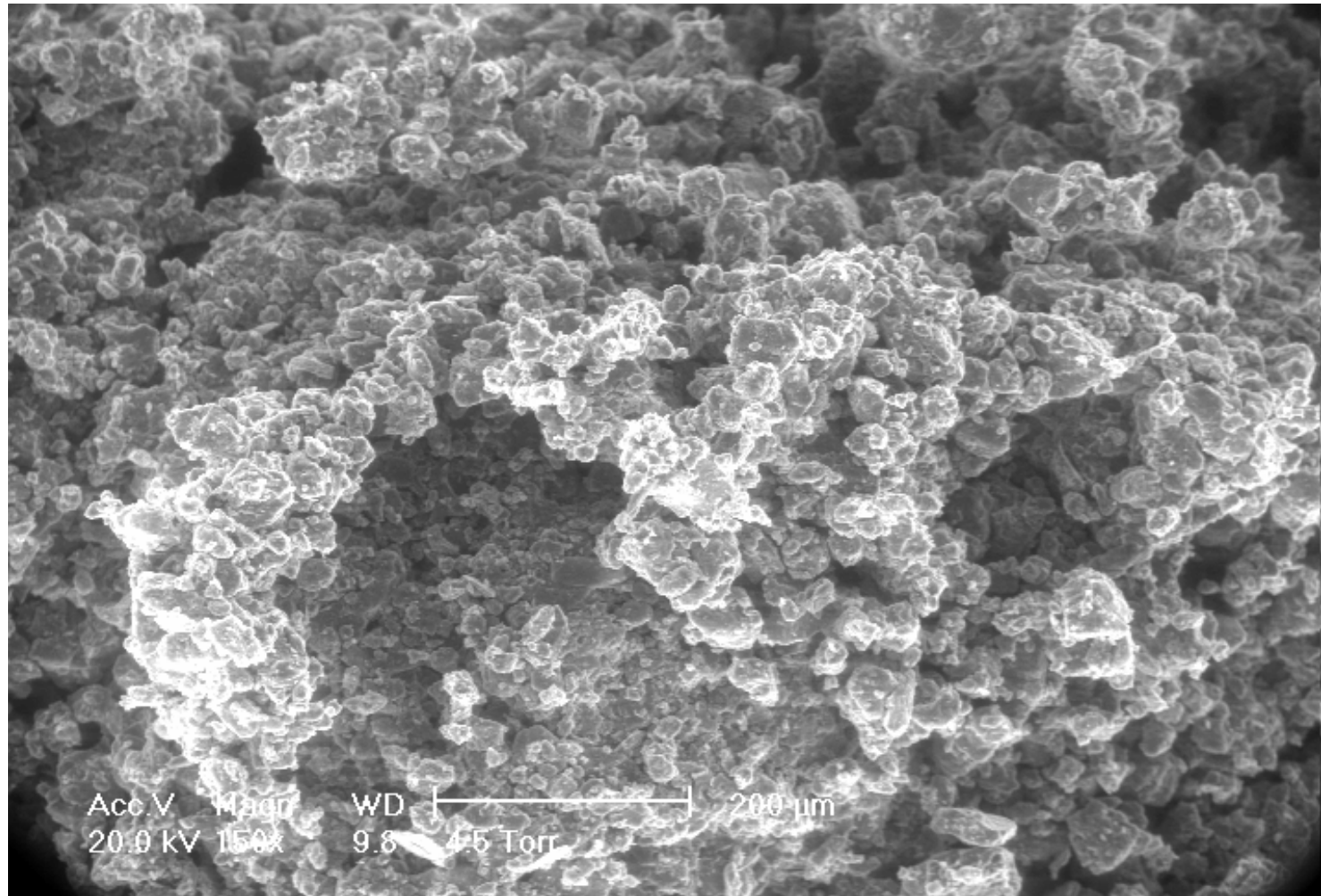
Humidification sous contrainte - Limon

Influence de l'état initial



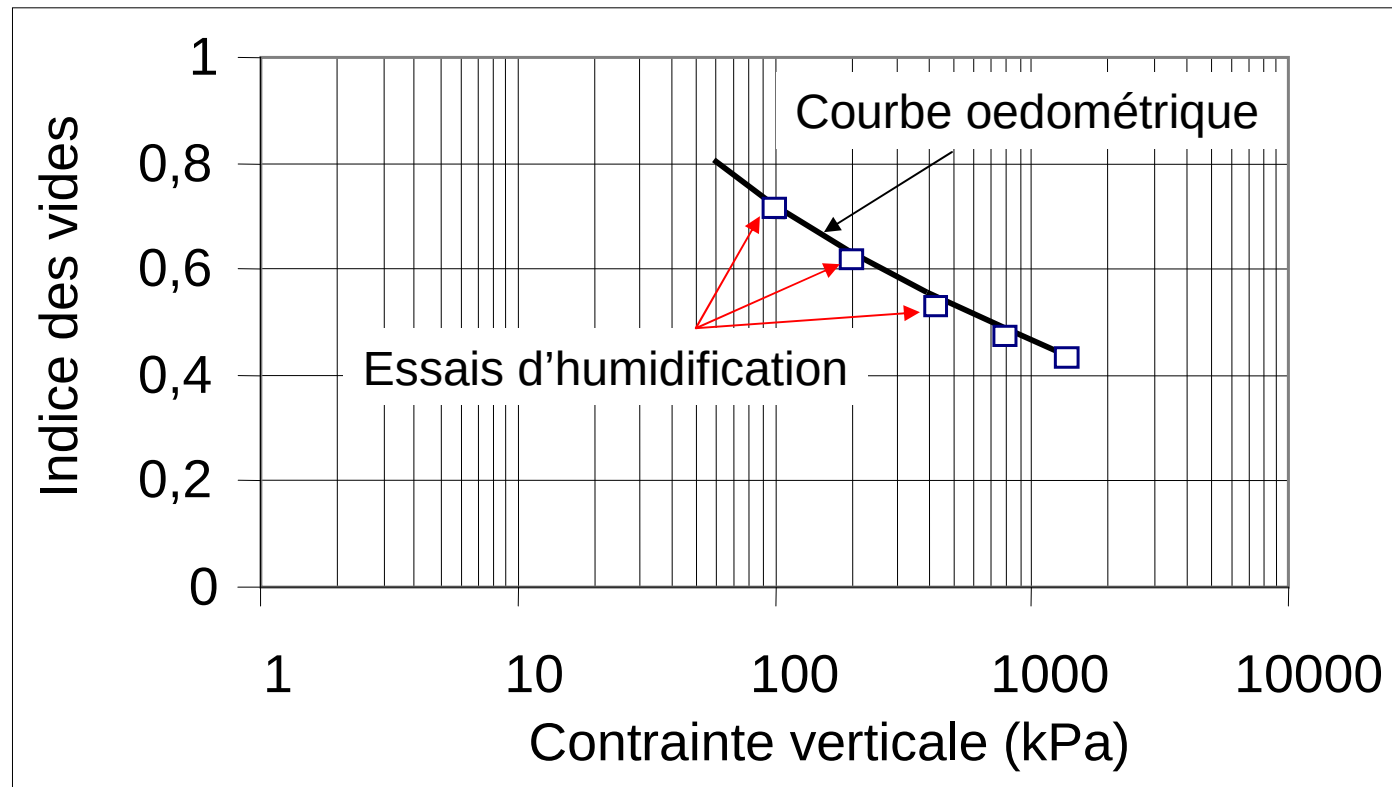


Organisation des particules à l'échelle microscopique



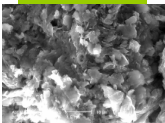
Humidification sous contrainte - Limon

Influence de la contrainte verticale



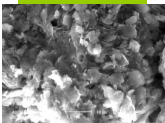
Conclusion pour les bases de remblais

- Pour les sols peu plastiques :
 - Critères de compactage adaptables
 - Remblais de grande hauteur ?
 - Remblais de ZI/ZH ?
 - Nécessité d'une confrontation à des ouvrages



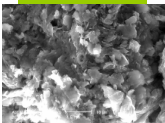
-2-

Conception et instrumentation de l'expérimentation



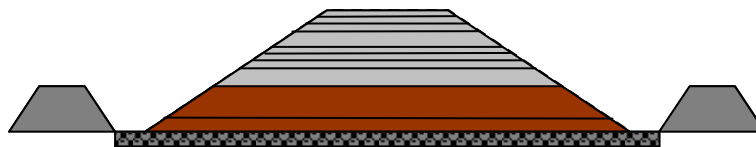
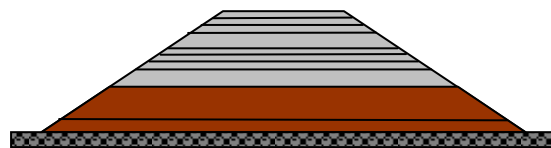
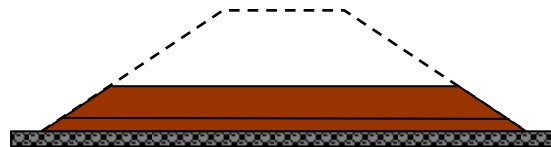
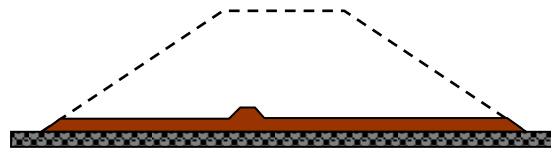
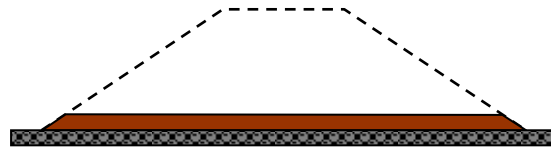
Idées conductrices

- Remblai de hauteur limitée
- Base de remblai mal compactée
- Instrumentation couplant état hydrique et déformation
- Différencier cas ZI et cas ZH

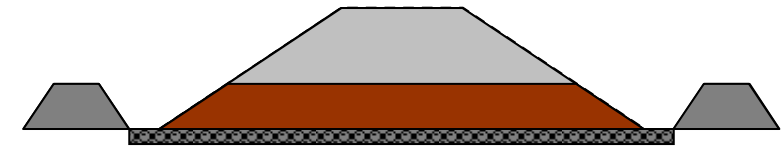


Phases de l'expérimentation

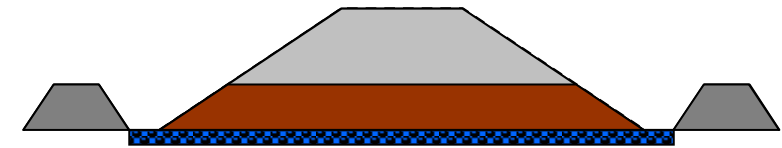
Construction



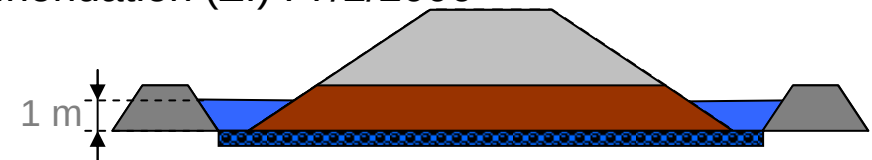
1^{ère} Inondation



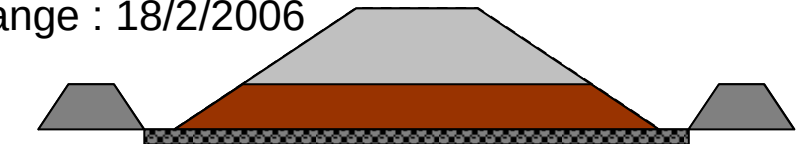
Saturation base drainante (ZH) : 4/1/2006



Inondation (ZI) : 7/2/2006



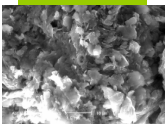
Vidange : 18/2/2006



2^{ème} Inondation (18/10/2006)



Construction

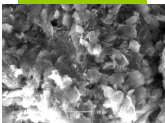


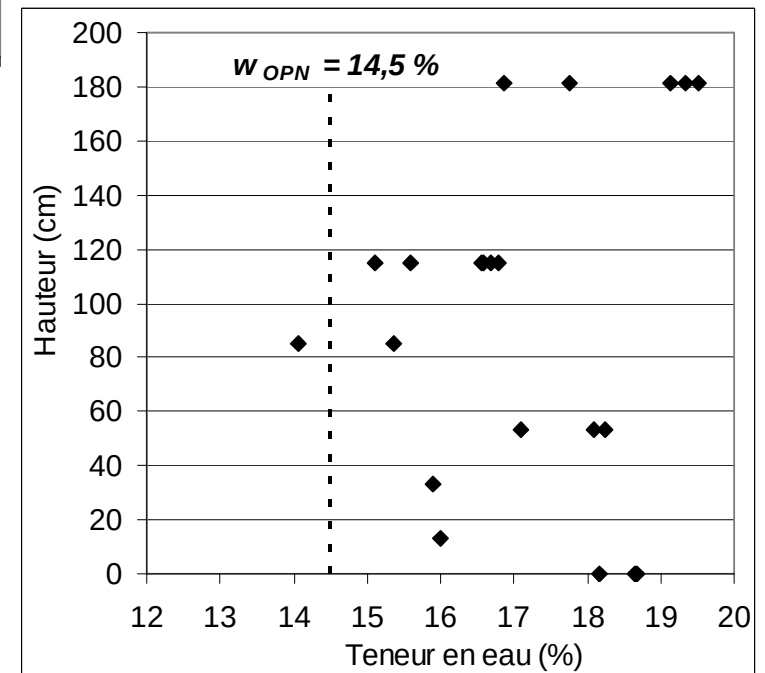
- Limon A28

- $I_p \sim 12,1$
- $C_{80\mu m} \sim 97 \%$
- $W_{OPN} \sim 14,5 \%$ - $\rho_{d,OPN} \sim 1,85 \text{ g/cm}^3$

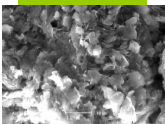
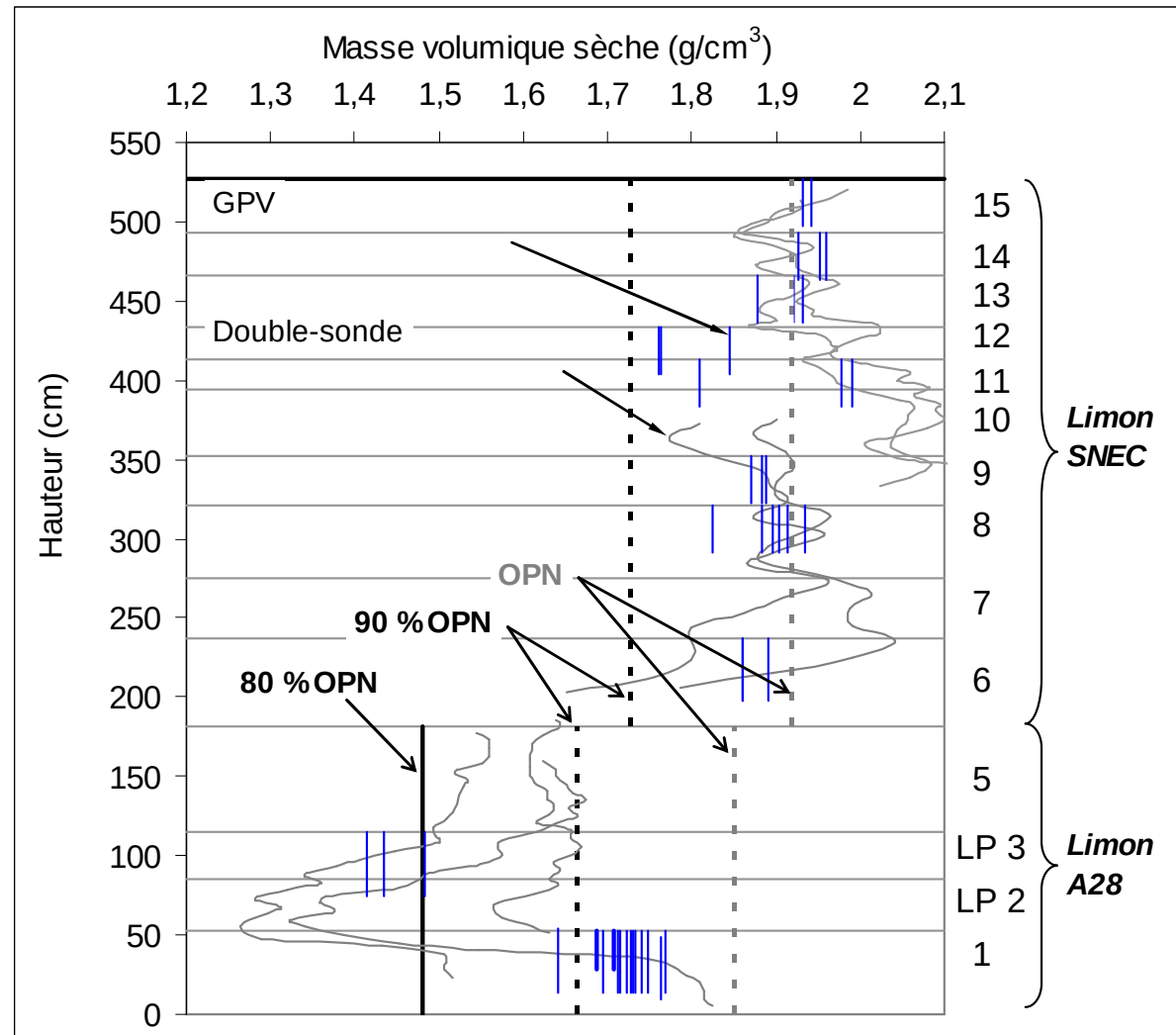
- Limon sableux SNEC

- $I_p = 8,6$
- $C_{80\mu m} \sim 40 \%$
- $W_{OPN} \sim 12,5 \%$ - $\rho_{d,OPN} \sim 1,92 \text{ g/cm}^3$

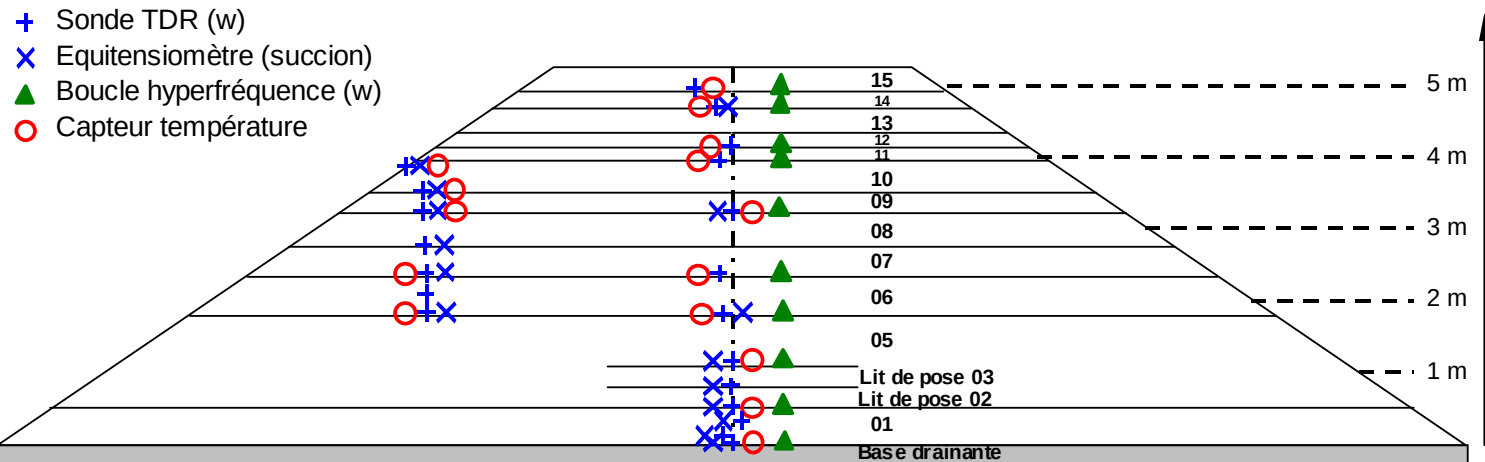




Profil de masse volumique sèche



Instrumentation Disposition générale

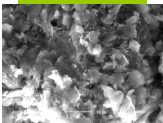
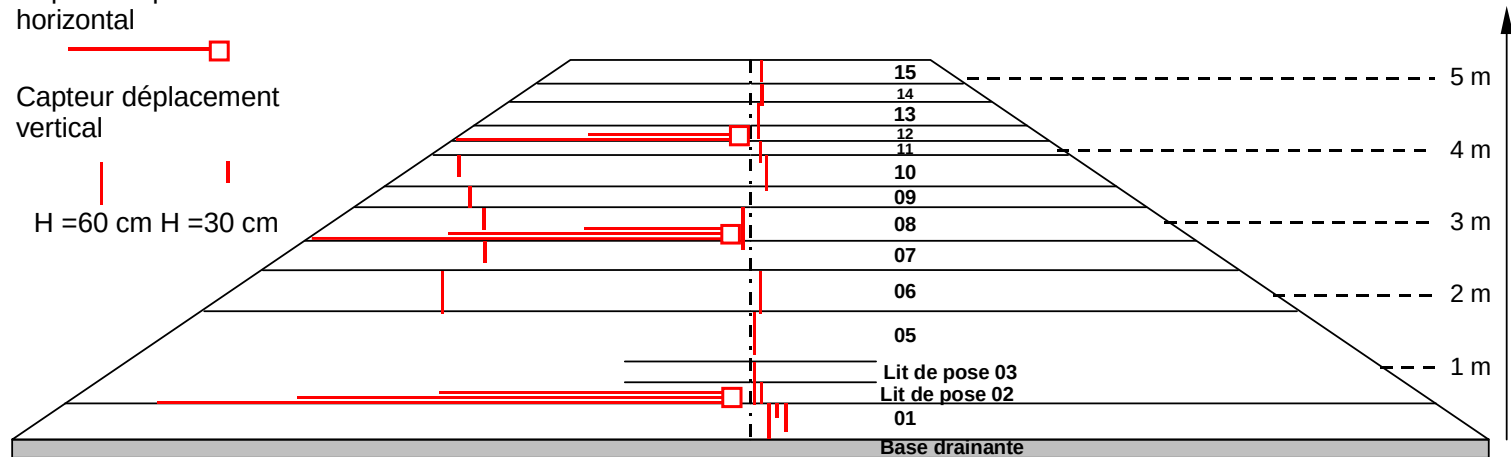


Capteur déplacement
horizontal



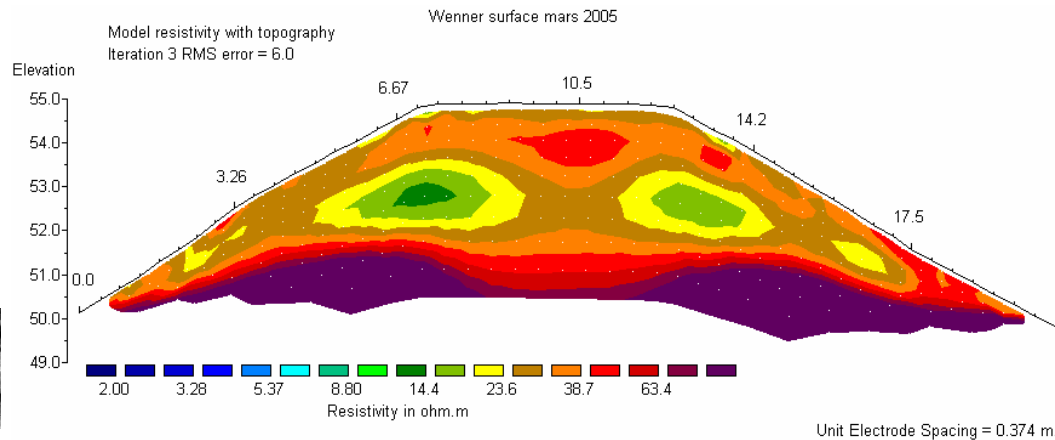
Capteur déplacement
vertical

H = 60 cm H = 30 cm



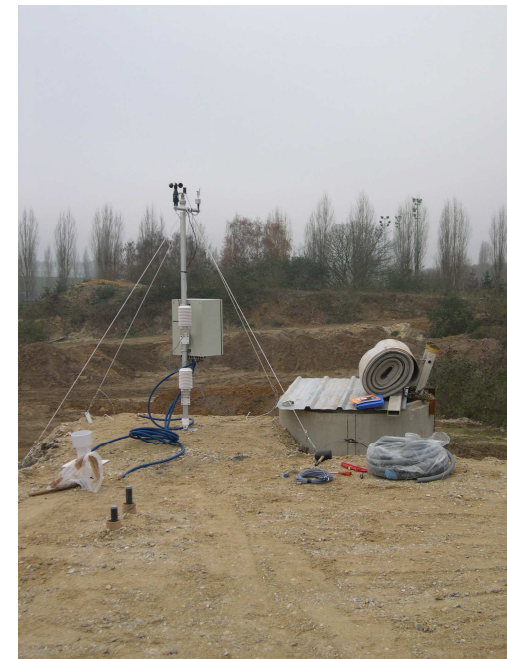
Autres méthodes

Tomographie de résistivité électrique



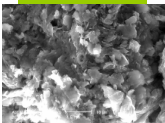
Horizontal scale is 14.69 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.92
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 20.5 m.

Station météorologique

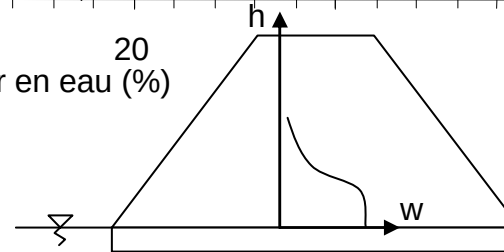
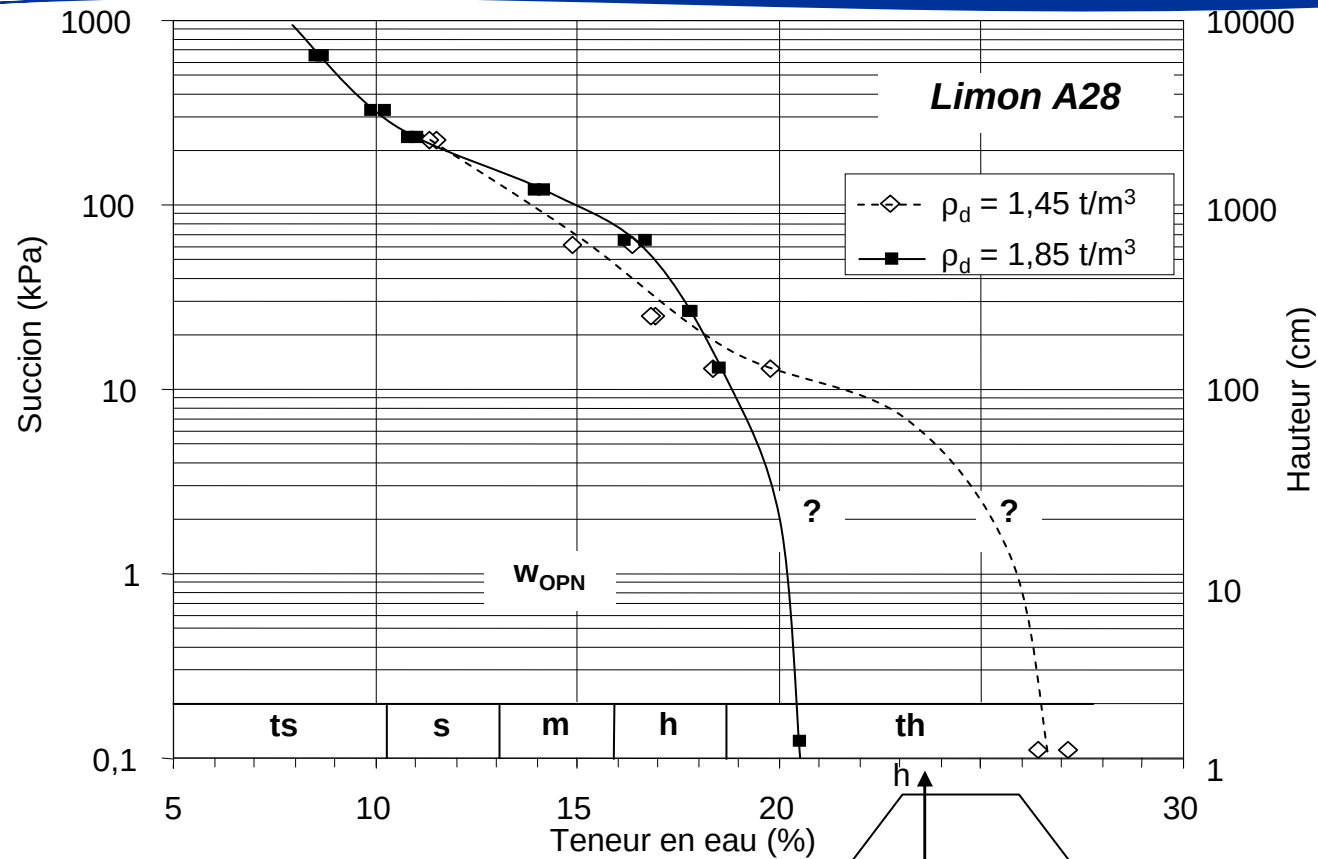


-3-

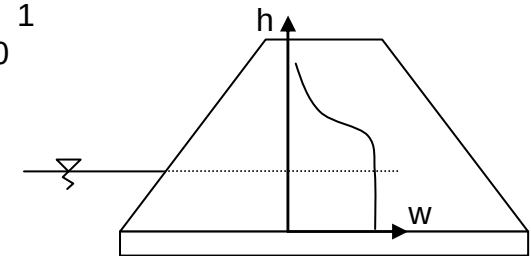
Quelques propriétés hydro-mécaniques du limon A28



Courbe de rétention



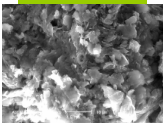
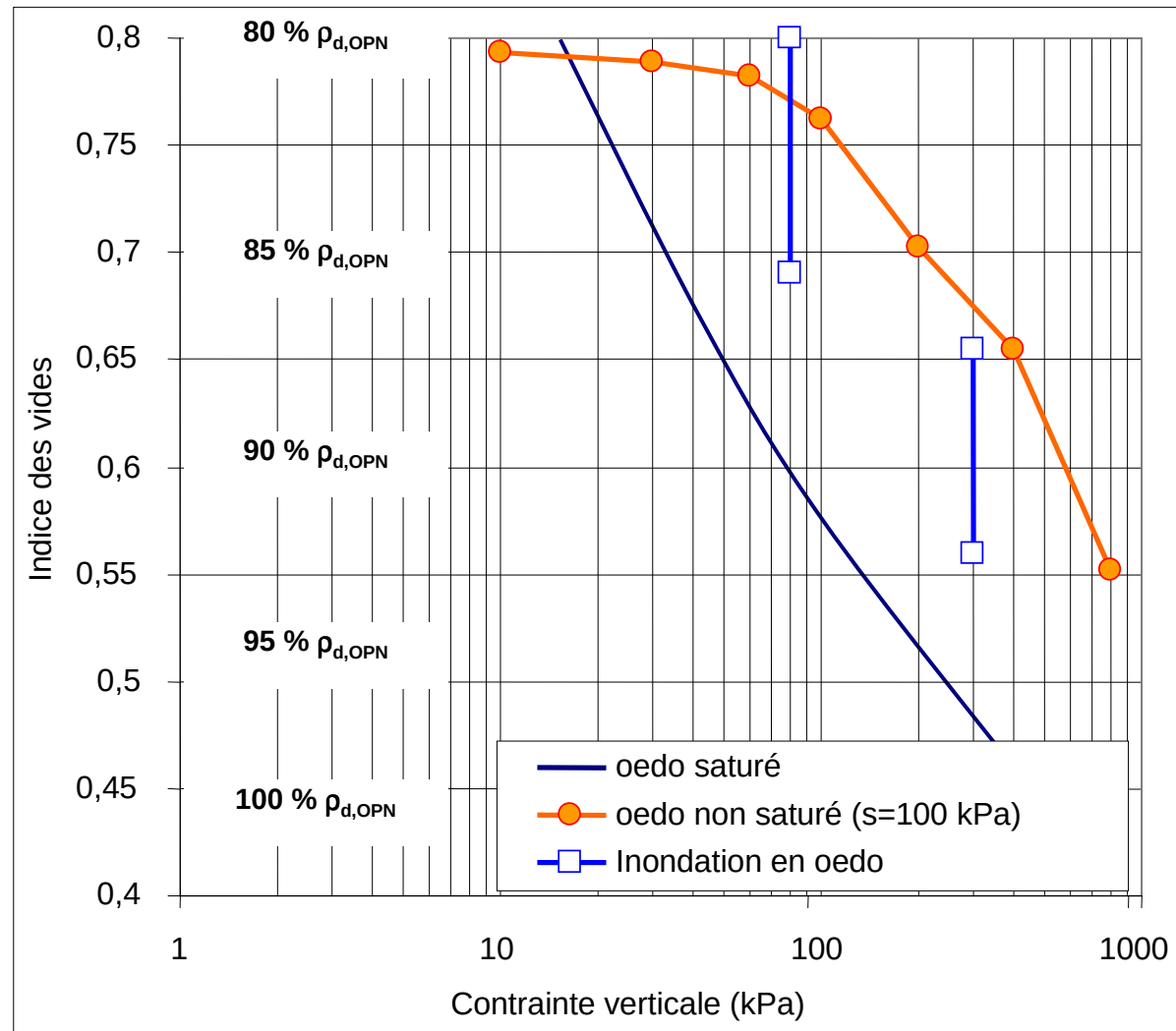
Saturation de la base drainante



Inondation sur 1 mètre

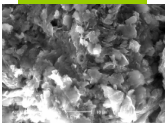


Synthèse

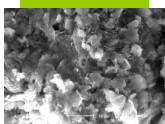
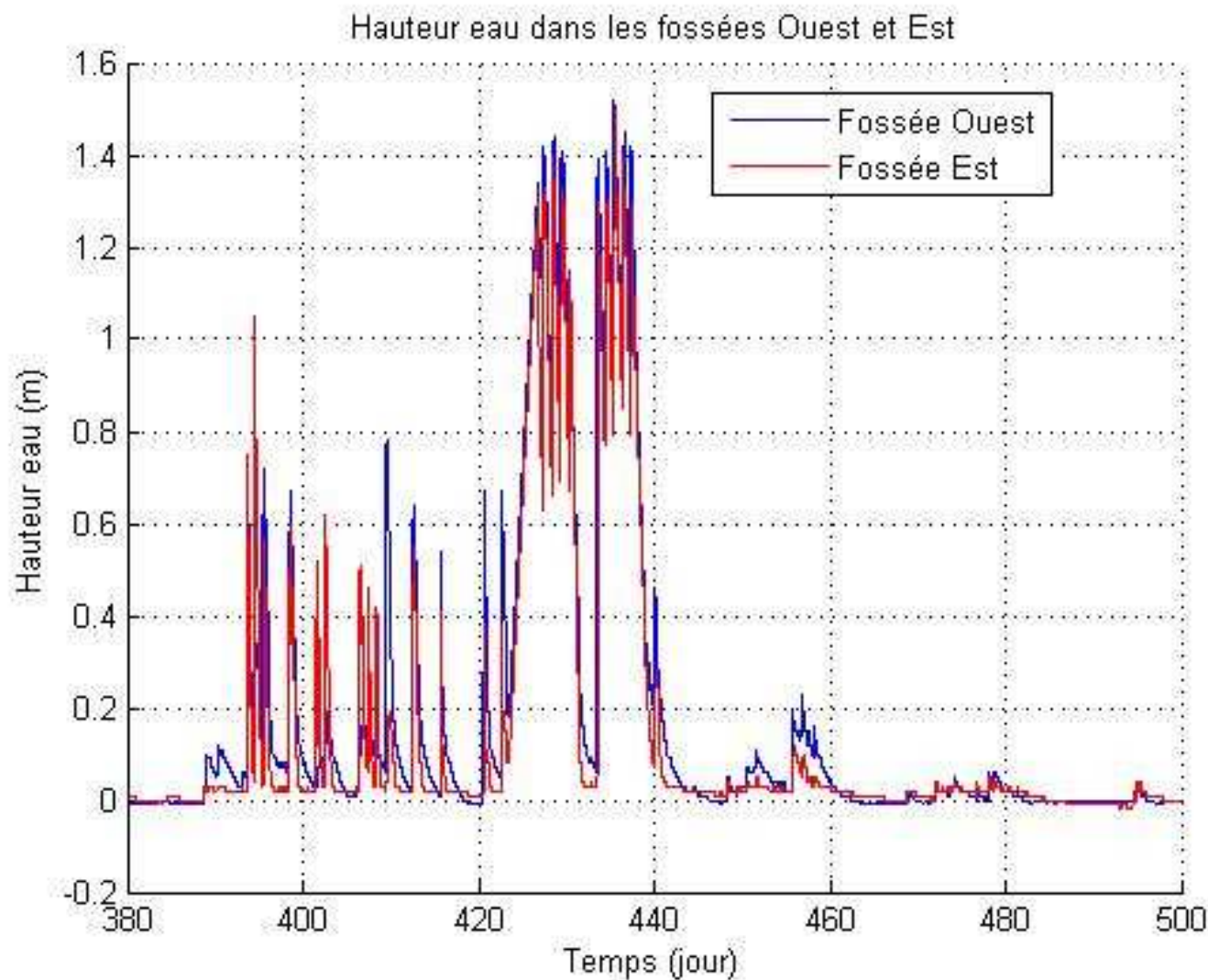


-4-

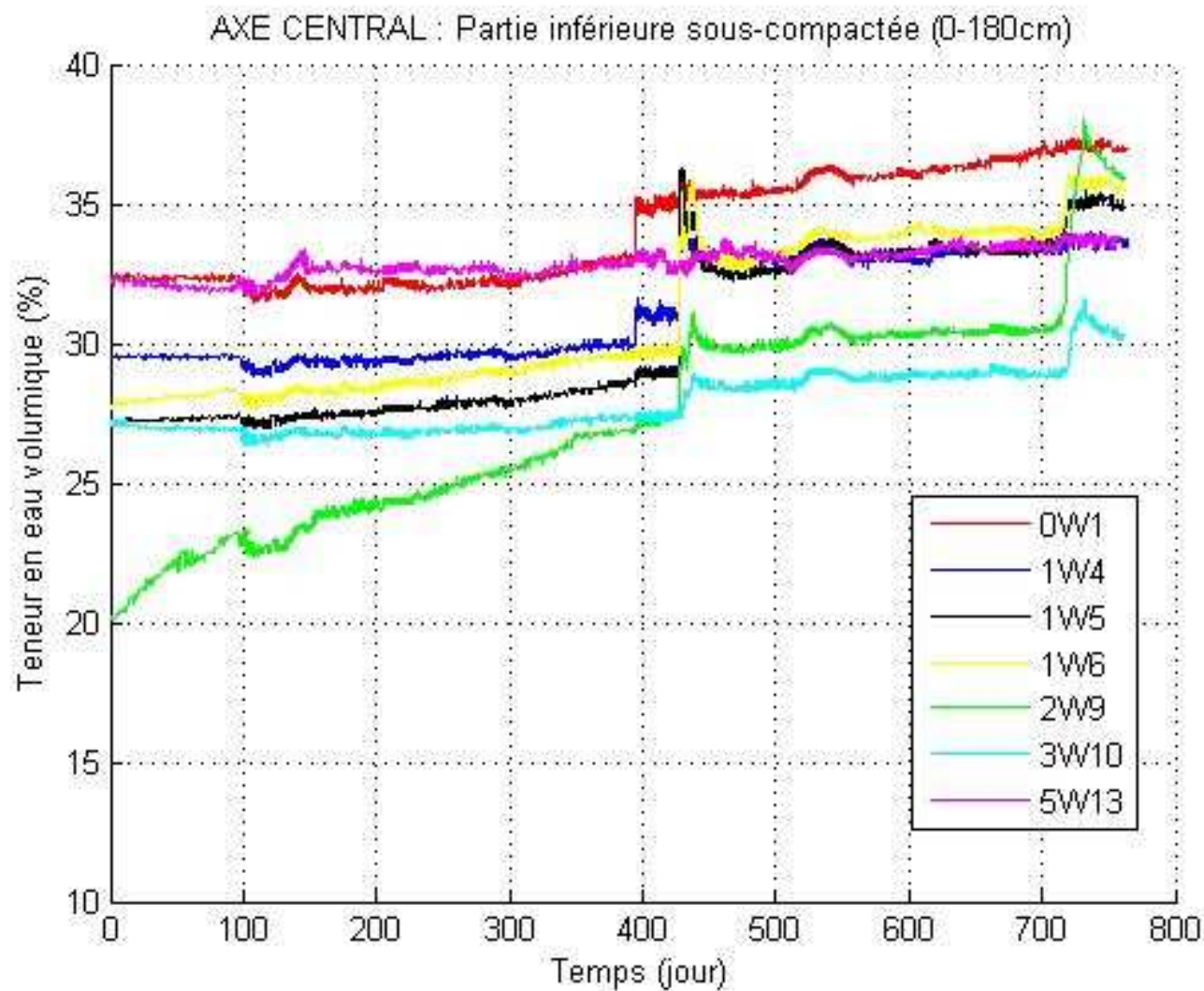
Conséquences des inondations du remblai



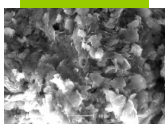
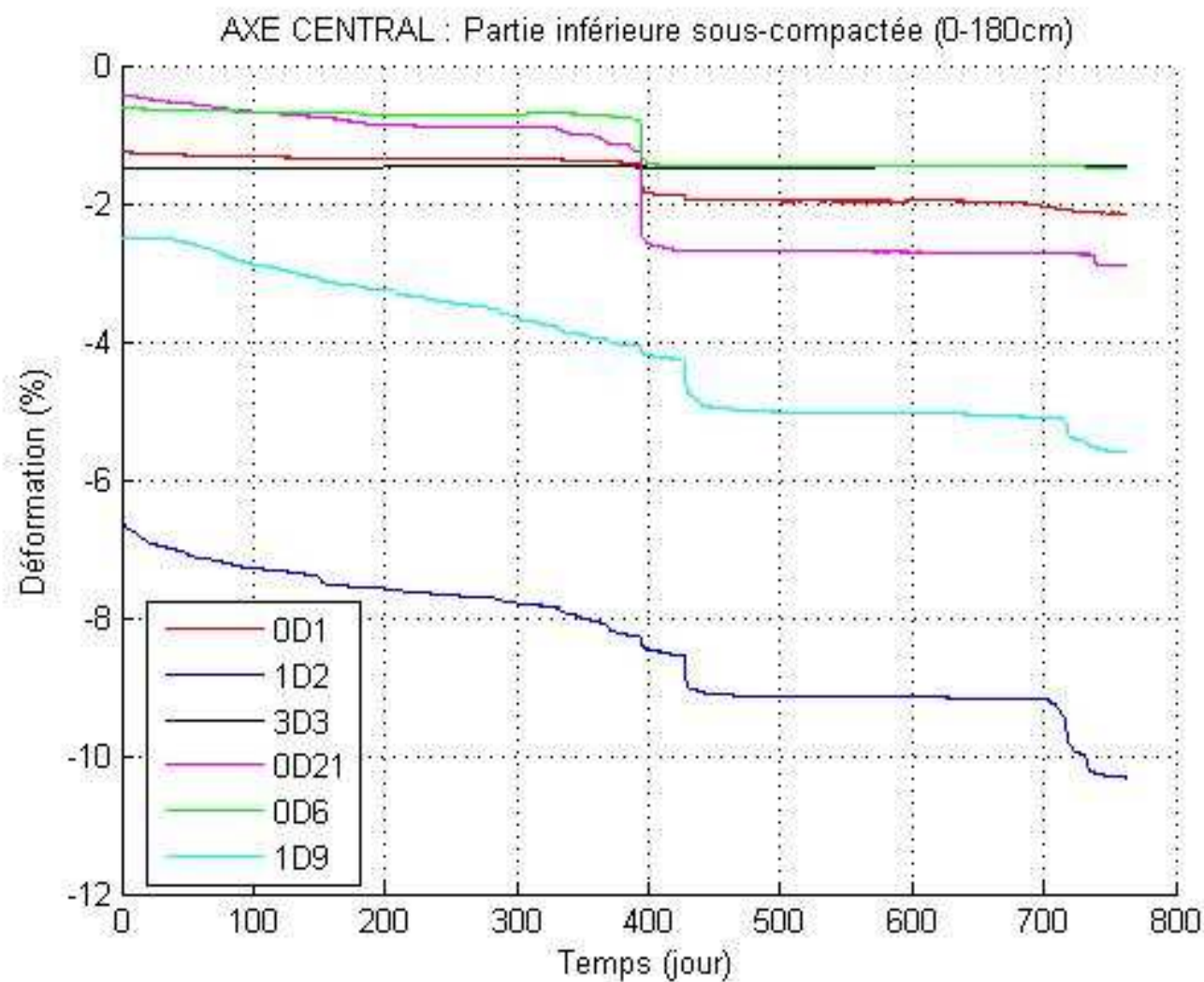
Charge hydraulique – Zoom 1^{ère} inondation



Suivi des teneurs en eau



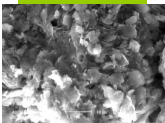
Suivi des déplacements verticaux





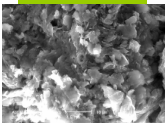
-5-

Trois questions

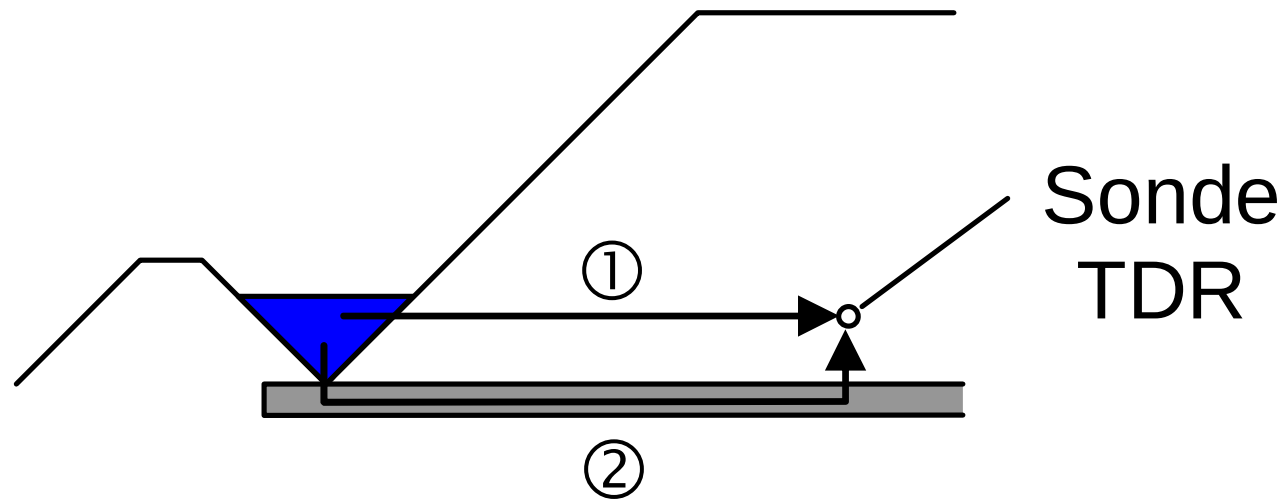


Question n°1

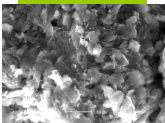
Où passe l'eau lors de l'inondation ?



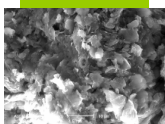
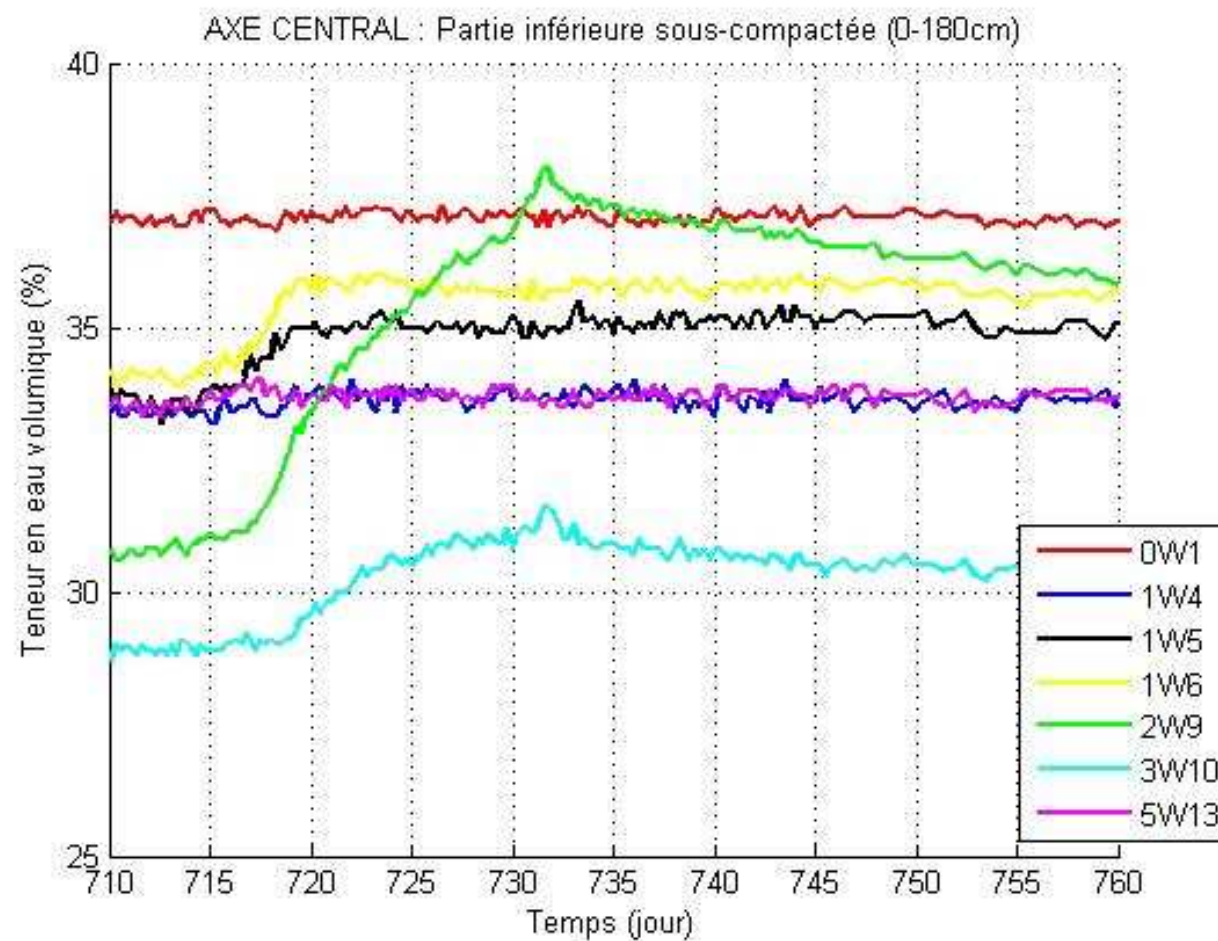
Hypothèse initiale



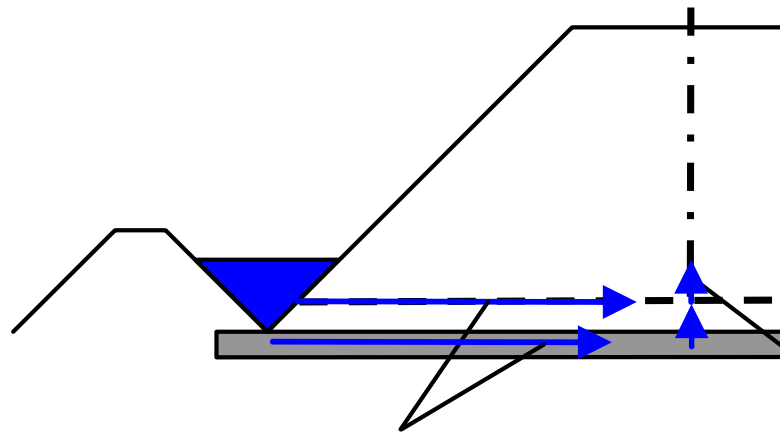
- Perméabilité supposée : 10^{-7} m/s
- Cheminement ① : 1157 jours
- Cheminement ② : 11 jours pour 10 cm de hauteur



Détail du suivi des sondes TDR

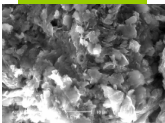


Interprétation proposée



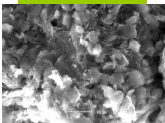
1^{ère} partie de trajet :
Interface entre
couches compactées
ou base drainante

2^{ème} partie de trajet :
Transfert dans le sol
compacté

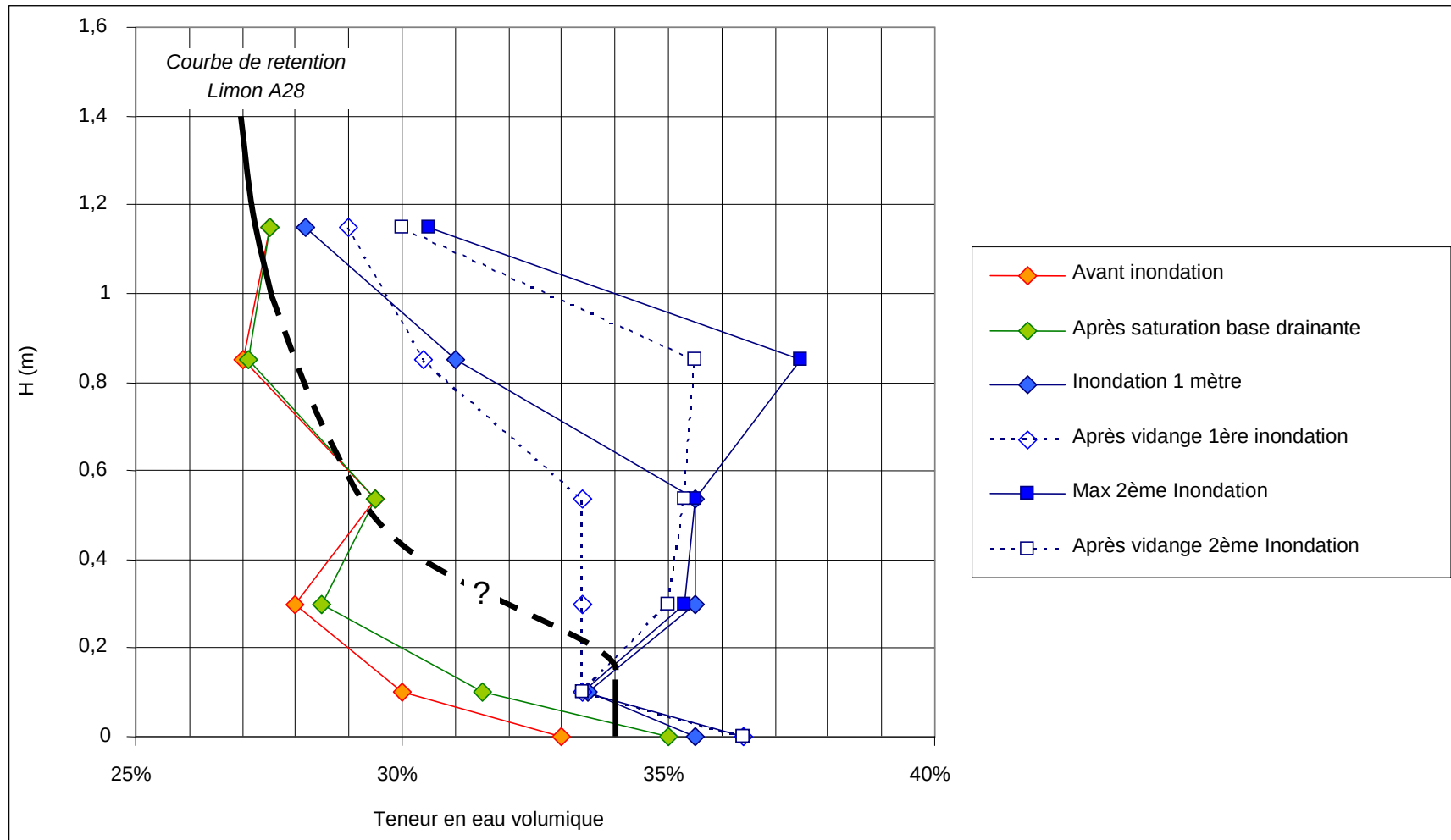


Question n°2

Remontées capillaires : combien ? Pouvait-on le prévoir ?

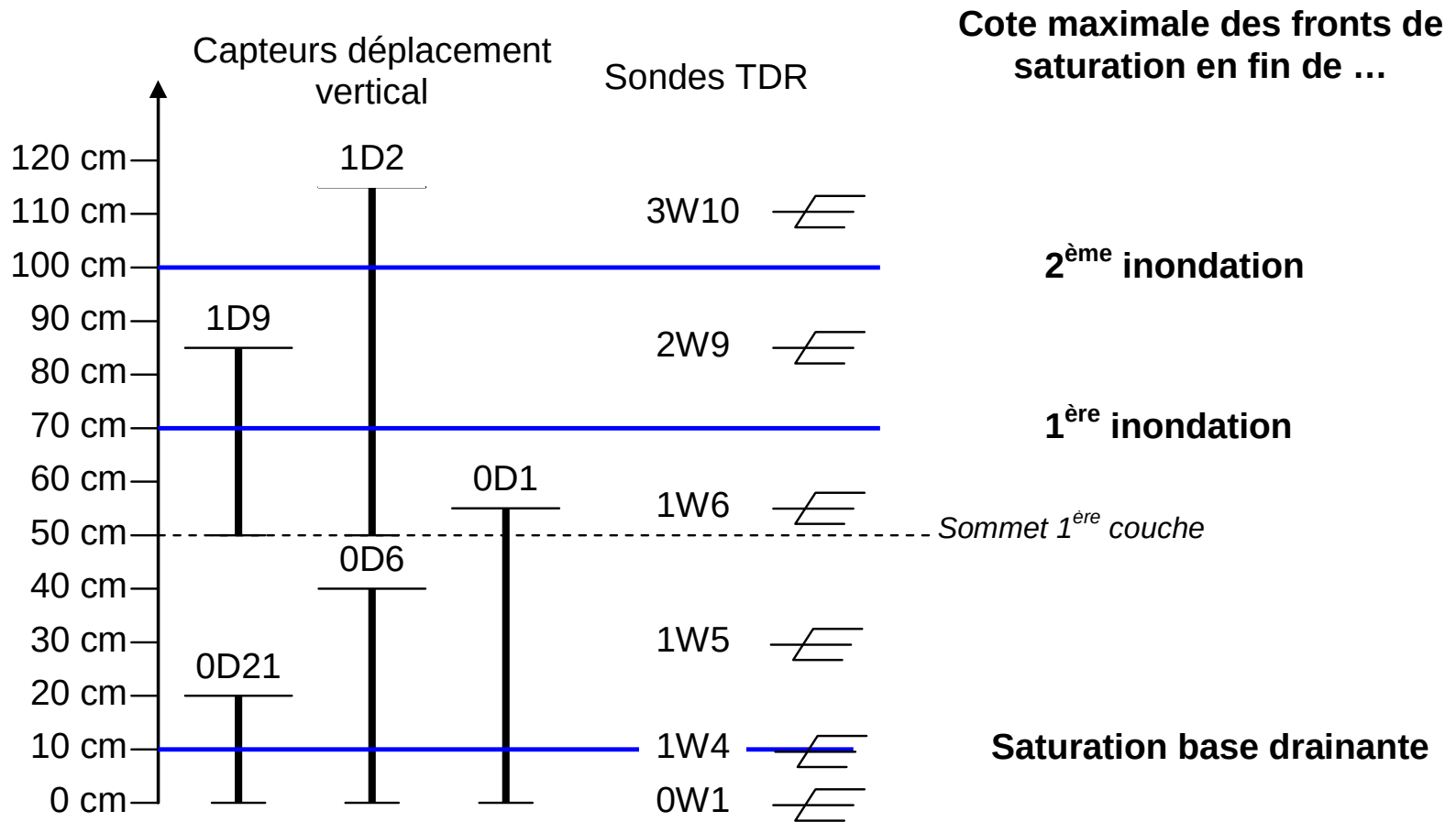


Profils de teneur en eau



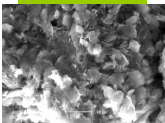


Evolution du front de saturation au cours des inondations

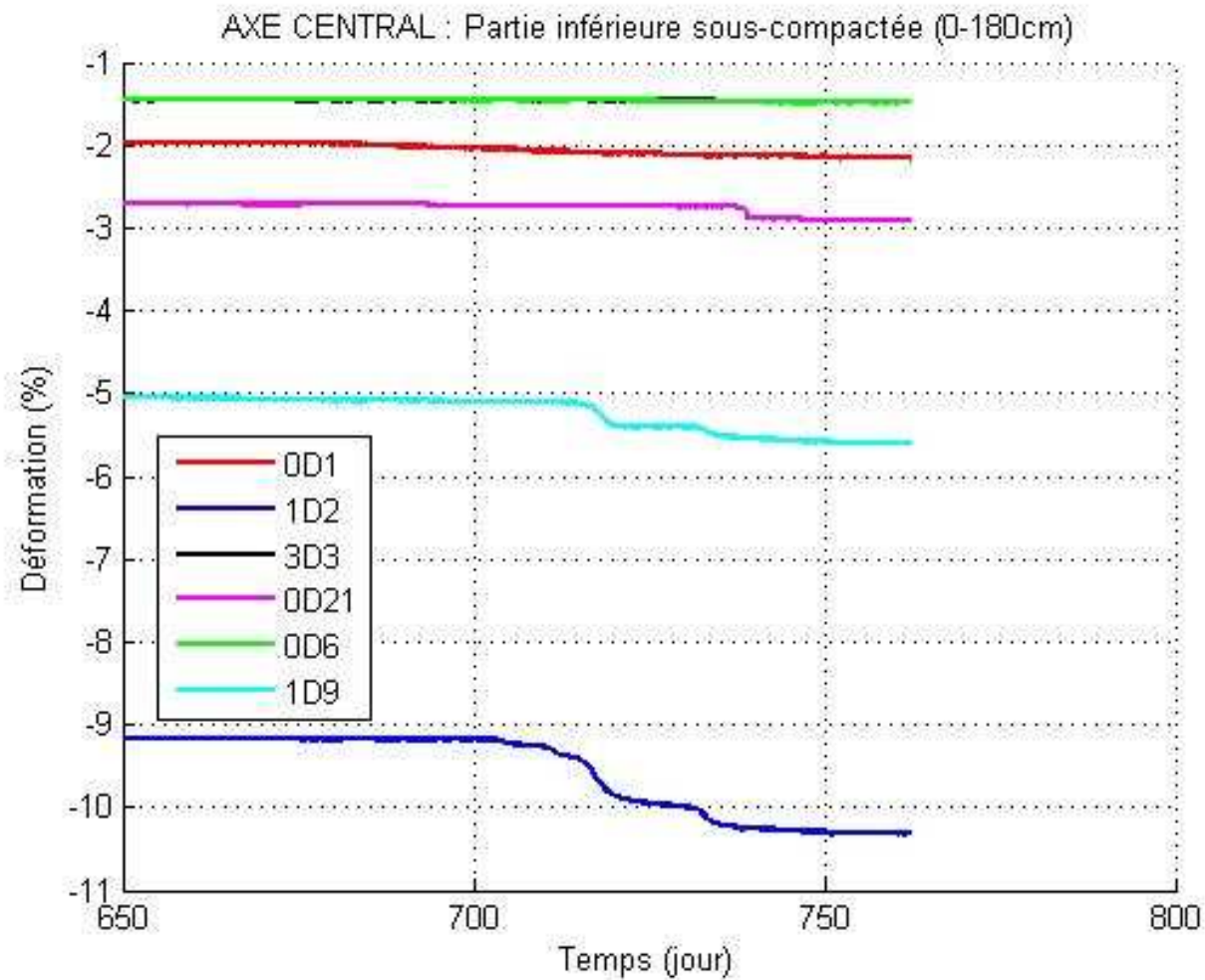


Question n°3

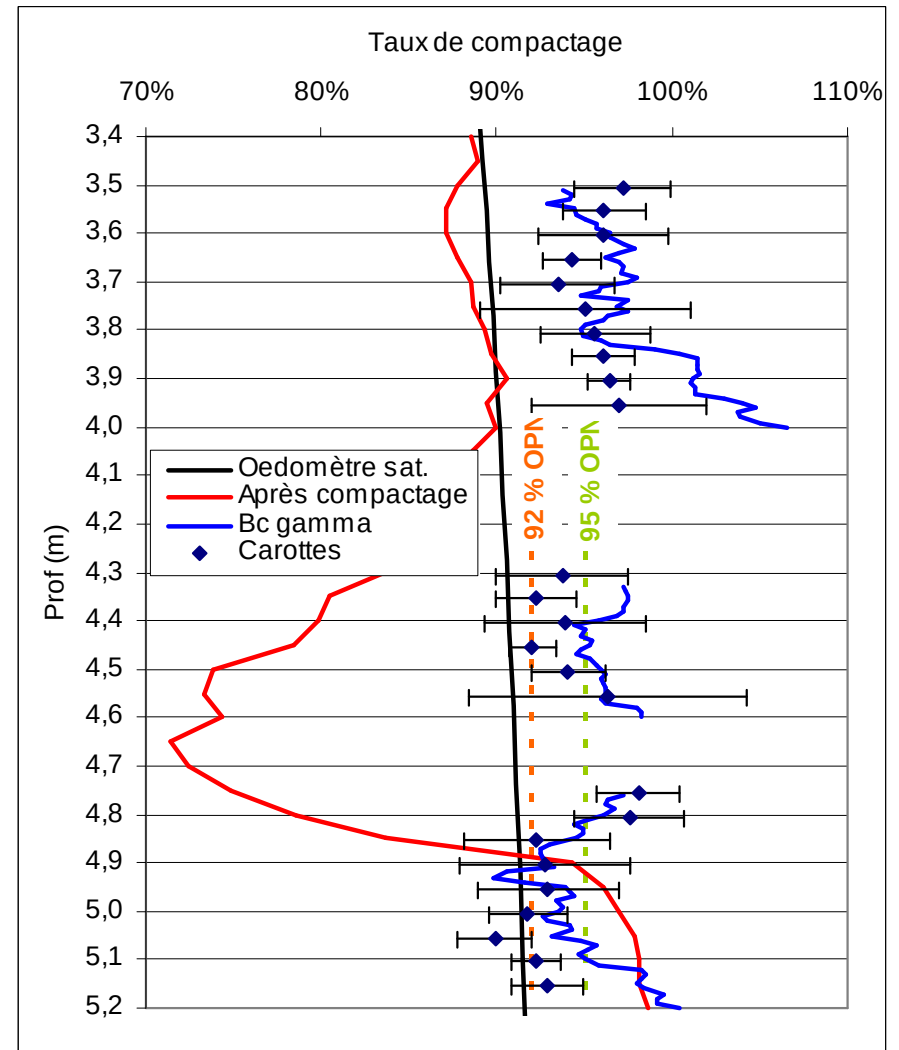
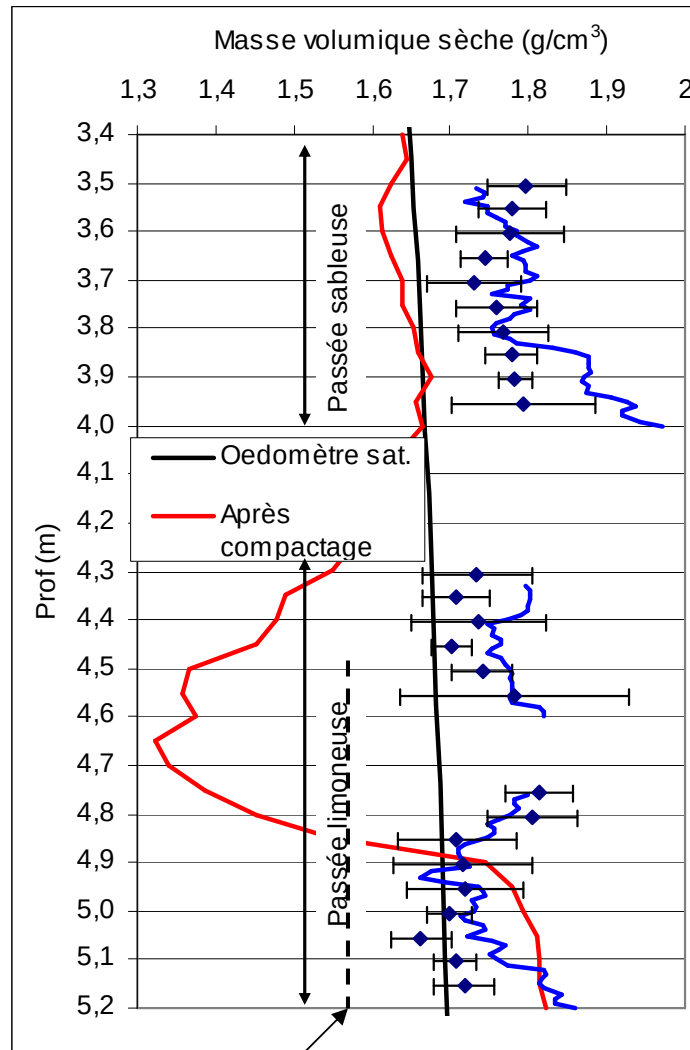
Tassements dus à l'inondation : Combien ? Pouvait-on le prévoir ?



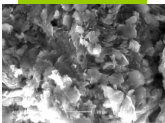
Déformations observées



Profil vertical final

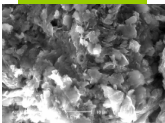


Essai inondation oedo



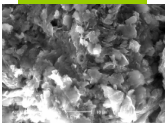
En résumé

- Tassement avant saturation
 - 60 mm (maximum prévu : 30 mm)
- Saturation base drainante
 - Front de saturation : 10-20 cm
 - Tassement : 2-3 mm
- 1^{ère} inondation (1 m en moyenne)
 - Front de saturation : ~70 cm
 - Tassement induit : 3-5 mm
- 2^{ème} inondation (1,4 m en moyenne)
 - Front de saturation : ~ 1 m
 - Tassement induit : 2-7 mm
- Tassement dû à l'inondation
 - 7-15 mm (maximum prévu : 70 mm)



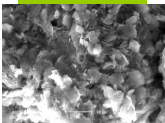
Conclusions

- Importance de l'expérimentation en vraie grandeur
- Evaluation de la méthodologie de prévision des tassements
 - Prévision raisonnable du tassement total
 - Prévision délicate du tassement après construction et dû à l'inondation
 - Prévisions pessimistes
- Courbe de rétention et remontées capillaires ...
- Utilisation de sols fins non traités en bases de remblais ZI ?
- Quid des sols grossiers ?
- Autre point majeur : le risque d'érosion



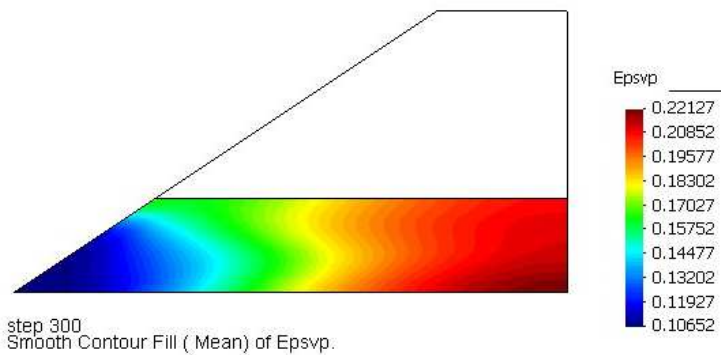
Suites possibles

- Courbe de rétention entre 0 et 10 kPa
- Influence du traitement sur le comportement (remontées capillaires, perméabilité non saturée, tassements)
- Investigations dans des remblais de ZH/ZI construits en sols sensibles
- Modélisation physique en centrifugeuse pour les sols grossiers



Modélisation numérique

*Déformations volumiques plastiques
dans la base du remblai
(fin d'inondation)*



Evolution des déplacements verticaux

