



# **Opération de Recherche TERRANOVA Terrassements Novateurs**

**Nantes, 28 mai 2018**

## **DIGUES**

### **Suivi d'une Digue Expérimentale en Terre-Chaux**

*Delphine Jacqueline et Lucile Saussaye*

## Objectifs de la digue expérimentale

- ✓ Démontrer la faisabilité du traitement spécifique à la chaux ( $w \nearrow$ , pétrissage) et de la procédure de mise en œuvre préconisés à l'échelle industrielle (Canal Seine Nord Europe)
- ✓ Corréler les observations en laboratoire sur les propriétés des sols traités à la chaux à l'échelle réelle menée par l'Ifsttar de Nantes
- ✓ Évaluer l'impact du traitement à la chaux sur les performances mécaniques et hydrauliques et suivre l'évolution dans le temps

## Digues expérimentales

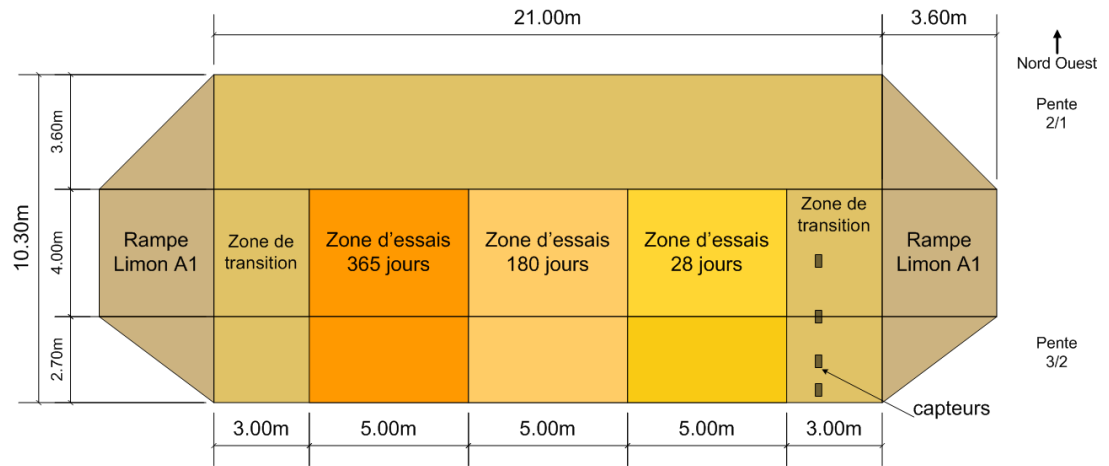
- ✓ Montage de la structure au Centre d'Expérimentation et de Recherche (CER) de Rouen dans le cadre de l'ORSI DOFEAS de 2011 à 2014
- ✓ Études complémentaires dans TERRANOVA de 2015 à 2017 (pérennité du suivi des talus, durabilité traitement à LT, prélèvement des matériaux traités)



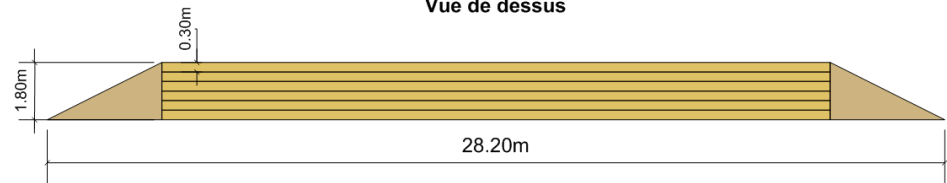
# Digue expérimentale en limon traité

Caractéristiques du limon A2 traité avec 2,5% de chaux :

- ✓  $\rho_d = 1,73 \text{ t/m}^3$
- ✓  $W_{OPN} = 17,8 \%$



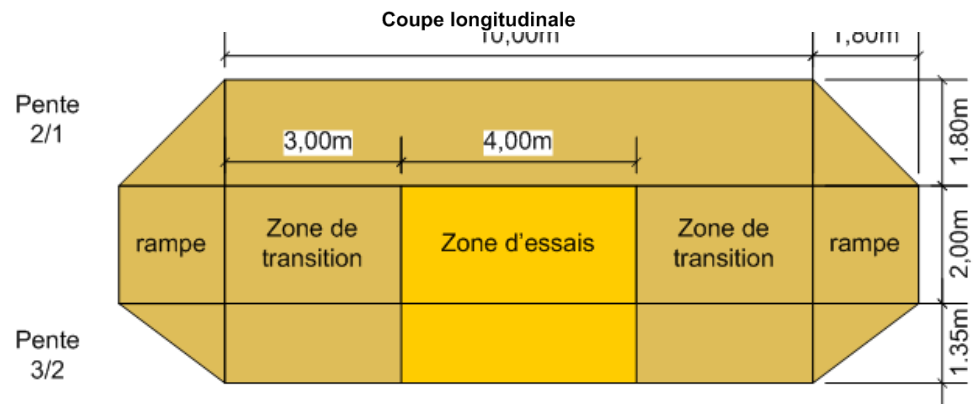
Vue de dessus



# Digue expérimentale en limon non traité

Caractéristiques du limon A2 :

- ✓  $\rho_d = 1,82 \text{ t/m}^3$
- ✓  $W_{OPN} = 14,5 \%$



Vue de dessus



Coupe longitudinale

# □ Construction de la digue en limon traité – sept. 2011

Traitement



Compactage



Digue en sol traité à la chaux



Digues en sol traité et non traité  
Sept 2012



# ❑ Conclusions du projet DOFEAS

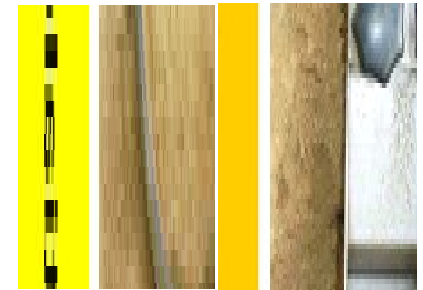
Les résultats des mesures montrent :

- ✓ la faisabilité de produire un matériau traité à la chaux avec un niveau d'homogénéité élevé ( $W_{MEO}$ , GPV25/40, GDS200)
- ✓ l'augmentation des performances mécaniques au cours du temps
- ✓ la préservation des niveaux de perméabilité très faibles
- ✓ l'accroissement de la résistance à l'érosion

Prélèvements  
(à 28 j, 6 mois et 1 an)



MoJET



PANDA

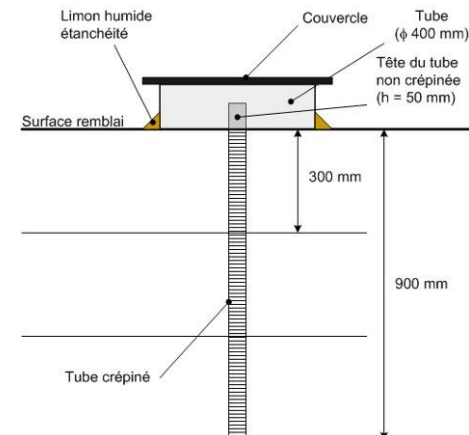
Minidynaplaque



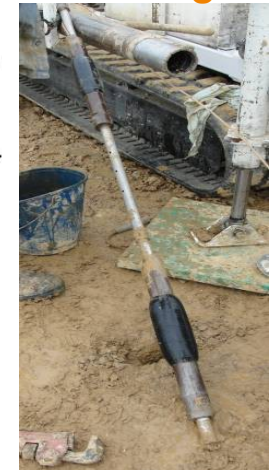
Perméabilité  
de surface



Perméabilité  
en forage crépiné



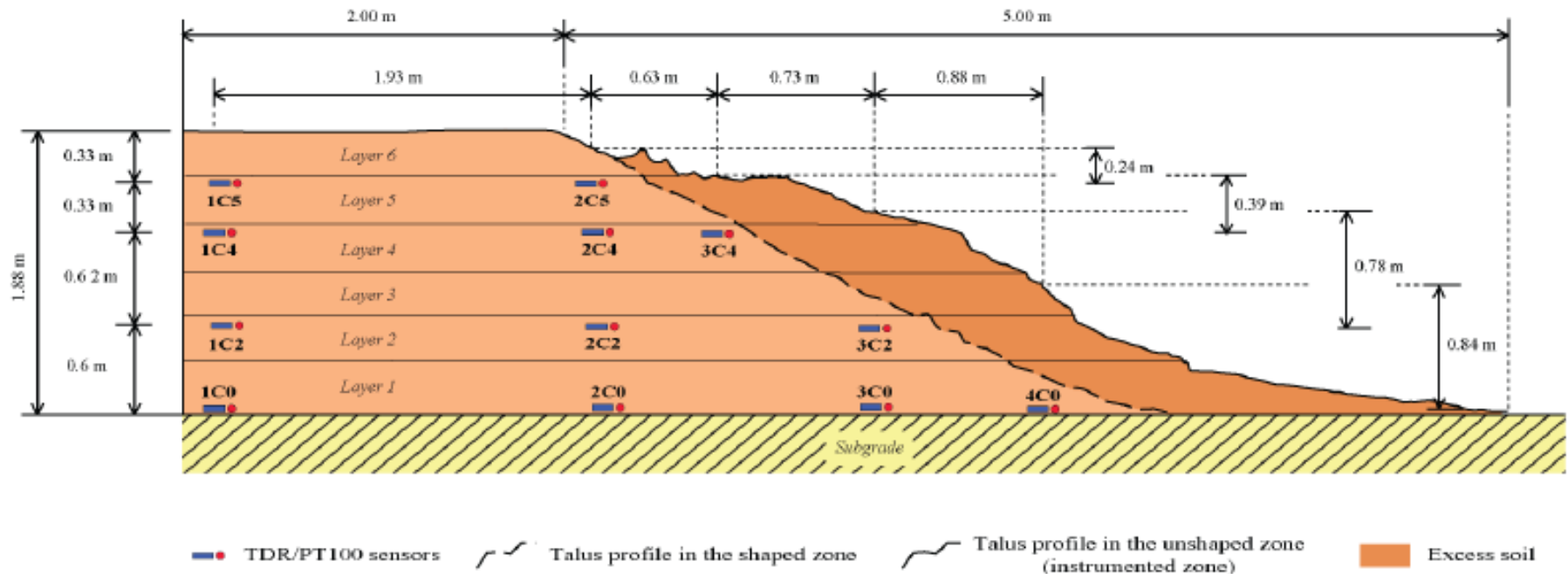
Perméabilité  
en forage



# □ Suivi de l'instrumentation de la digue

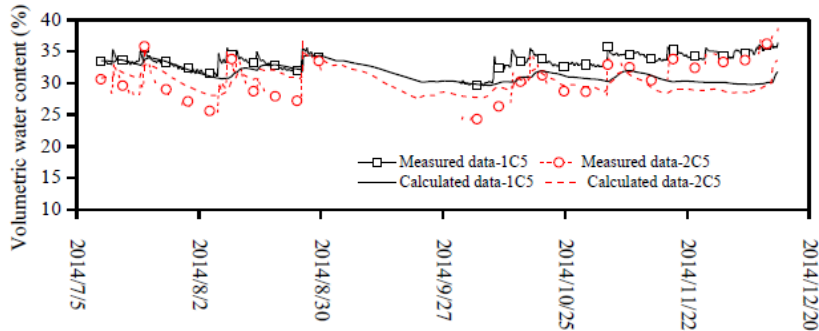
## Schéma d'implantation des capteurs :

- ✓ TDR : teneur en eau ; 4 mesures par jour
- ✓ PT100 : température ; 12 mesures par jour
- ✓ station météorologique installée à proximité de la digue (27/10/2011-17/11/2012)

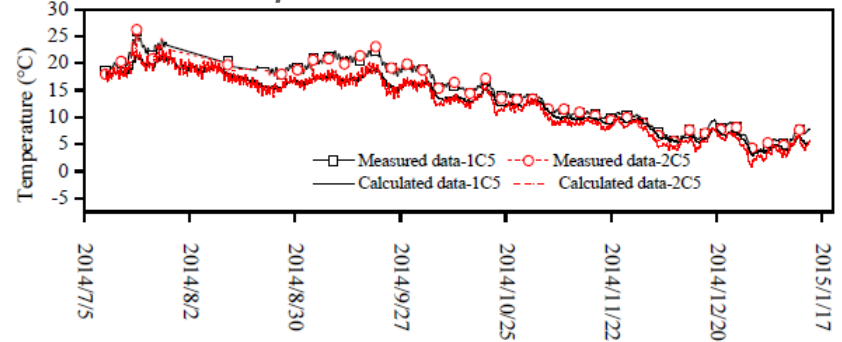


# An (2017) / Etude numérique de l'interaction sol-atmosphère : application aux remblais en sols traités

Comparaison de la *teneur en eau volumique* du sol - capteurs 1C5 et 2C5

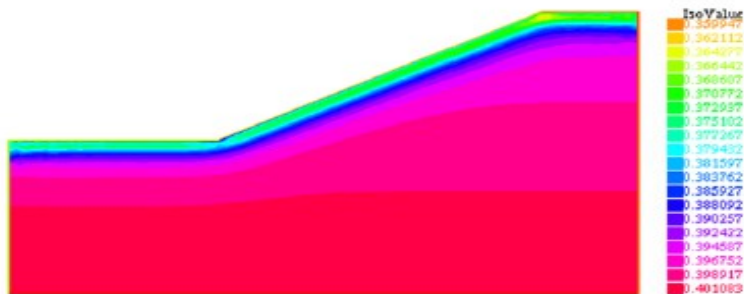


Comparaison de la *température* du sol - capteurs 1C5 et 2C5

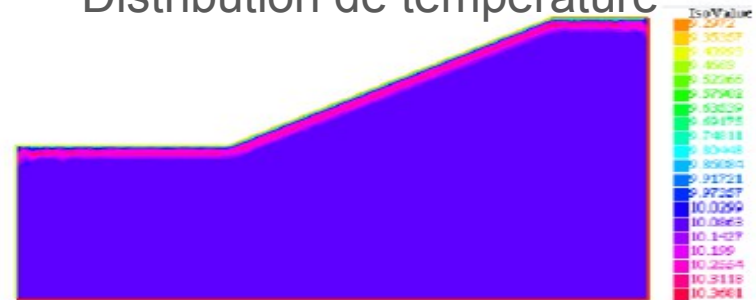


## Modèle développé sur le remblai d'Héricourt (projet Terdouest)

Distribution de teneur en eau



Distribution de température

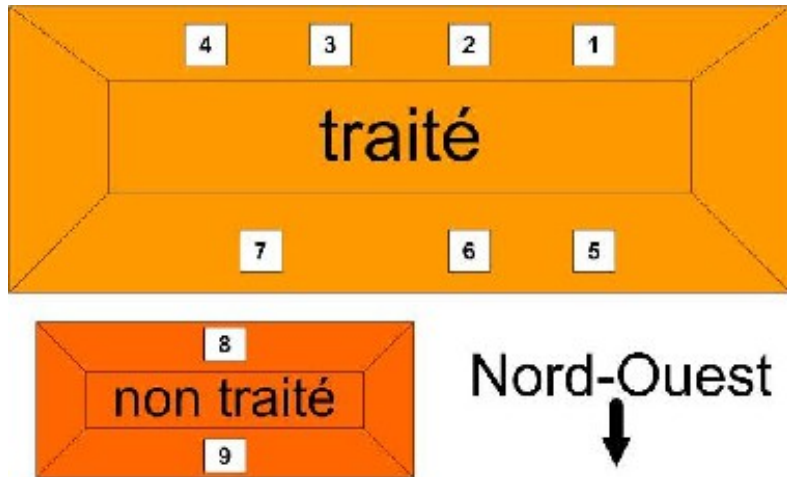




# □ Suivi photogrammétrique des talus de la digue

Avant le suivi photogrammétrique :  
observation des talus

Position des cadres sur les talus



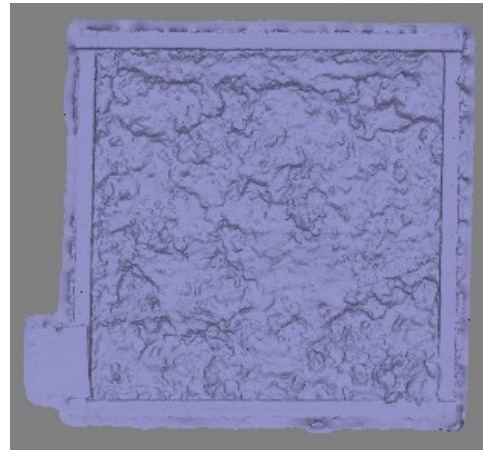
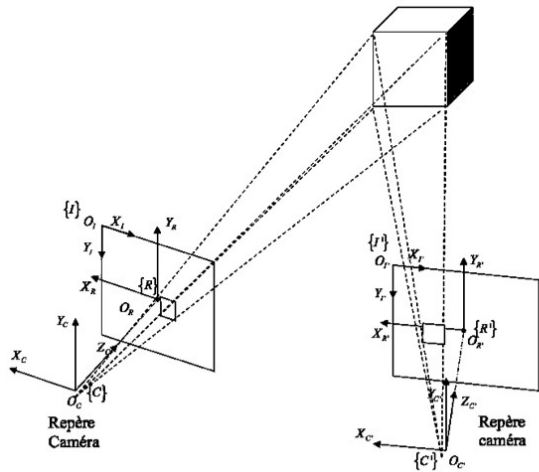
Talus digue en limon traité



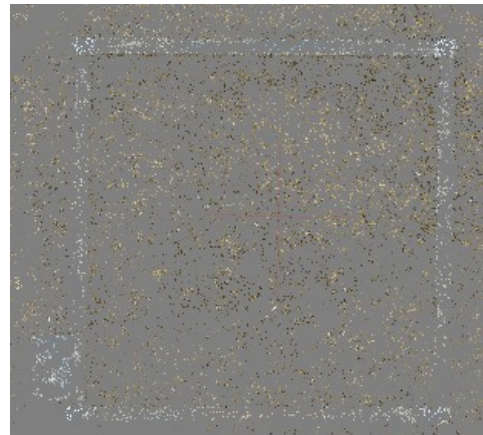
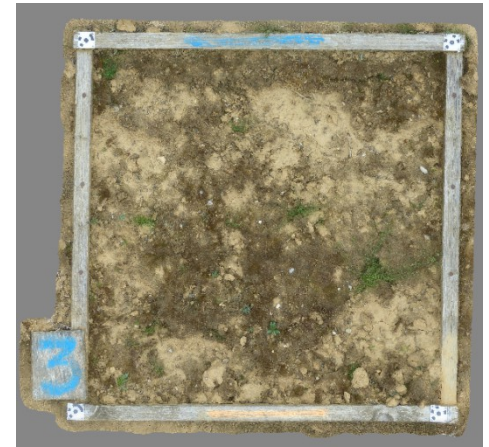
Talus digue en limon non traité



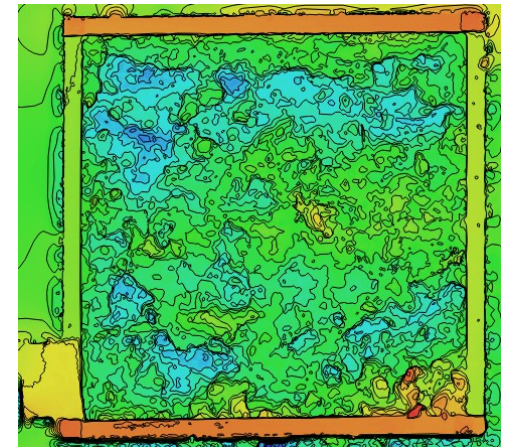
# □ Suivi photogrammétrique des talus de la digue



Nuage dense (3 952 658 pts)

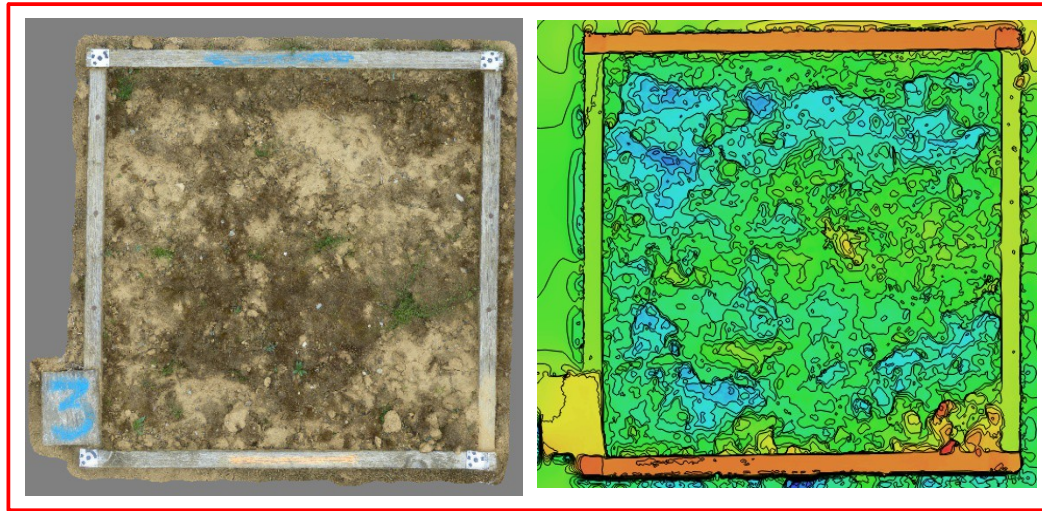


Points homologues (22 160 pts)

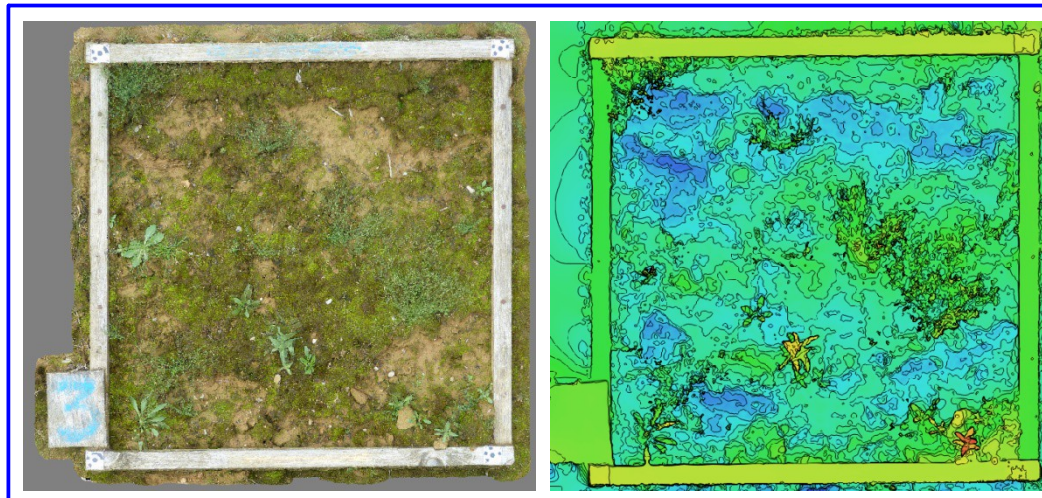


MNT (résolution = 0,829 mm)

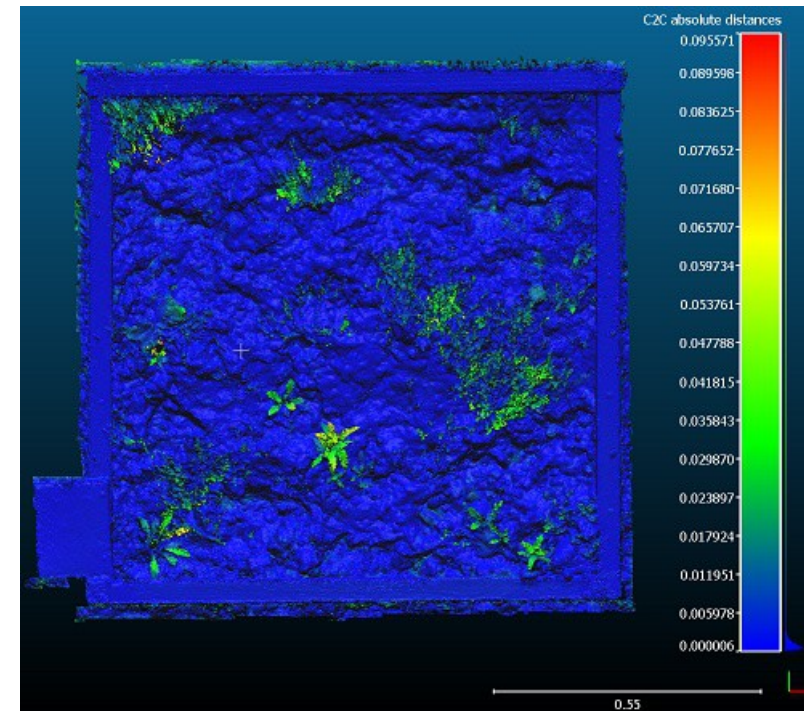
# □ Suivi photogrammétrique des talus de la digue



Avril 2016



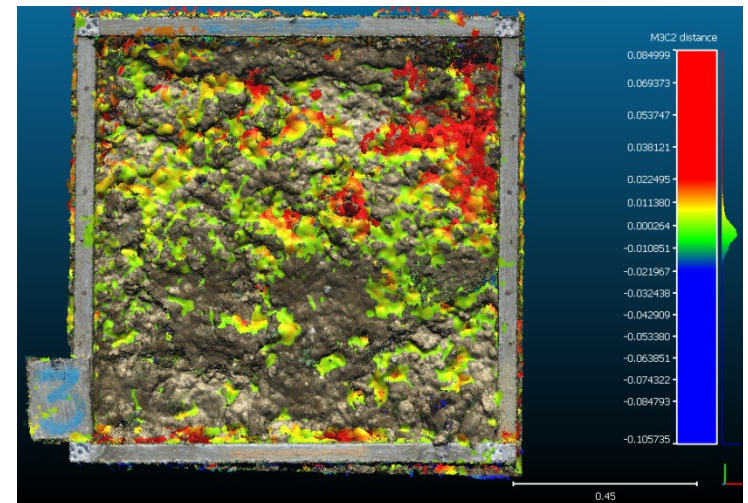
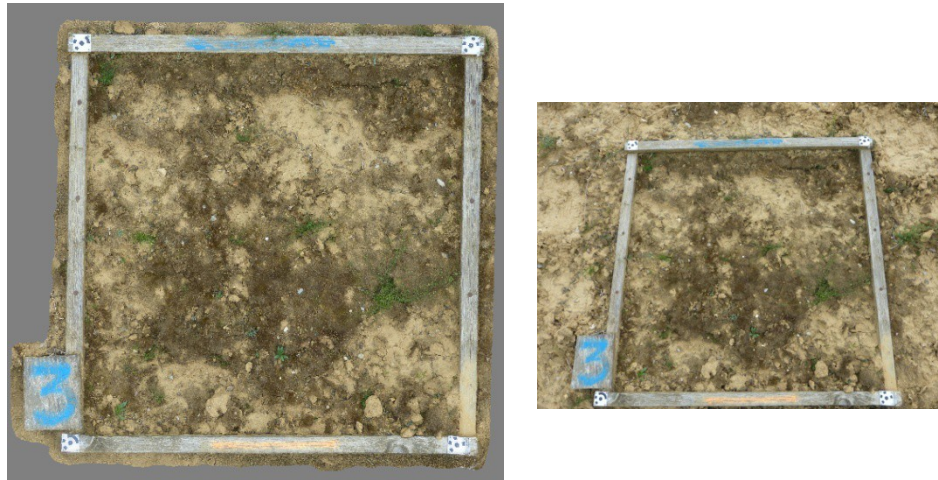
Juin 2016



- ✓ Bonne résolution de la méthode
- ✓ Mise en évidence de la végétation
- ✓ Important de couper la végétation pour faire le suivi du talus

# □ Suivi photogrammétrique des talus de la digue

Avril 2016

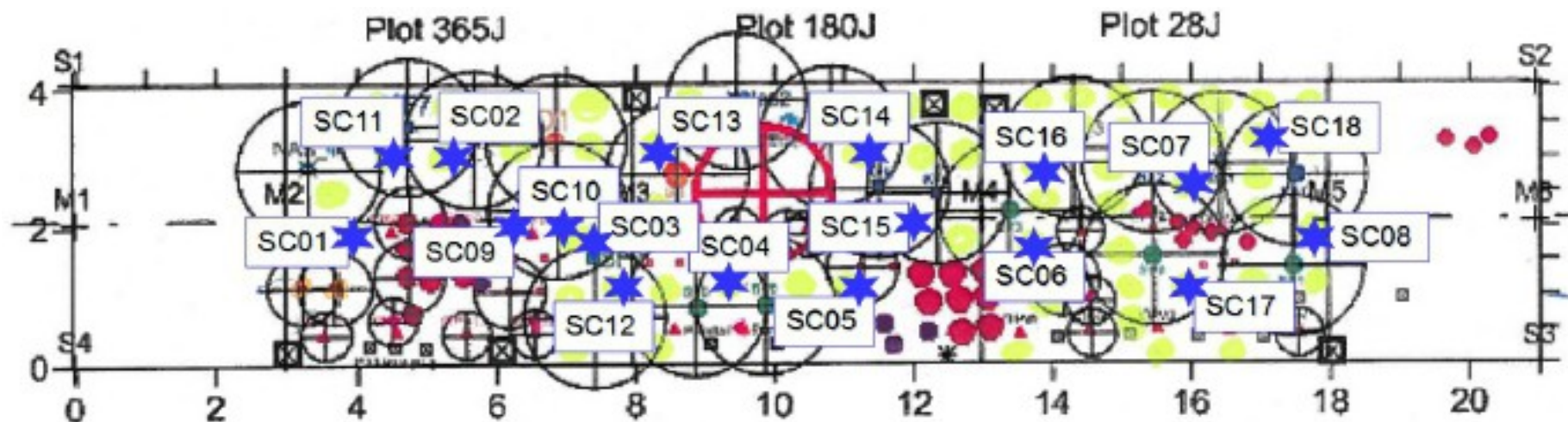


Après nettoyage de la surface (herbe coupées...)  
Présence d'une mousse venant masquer la surface → nécessité de faire un suivi des talus les 2 premières années

Mai 2017



# ❑ Méthodologie de prélèvement de limon traité à la chaux par sondage carotté

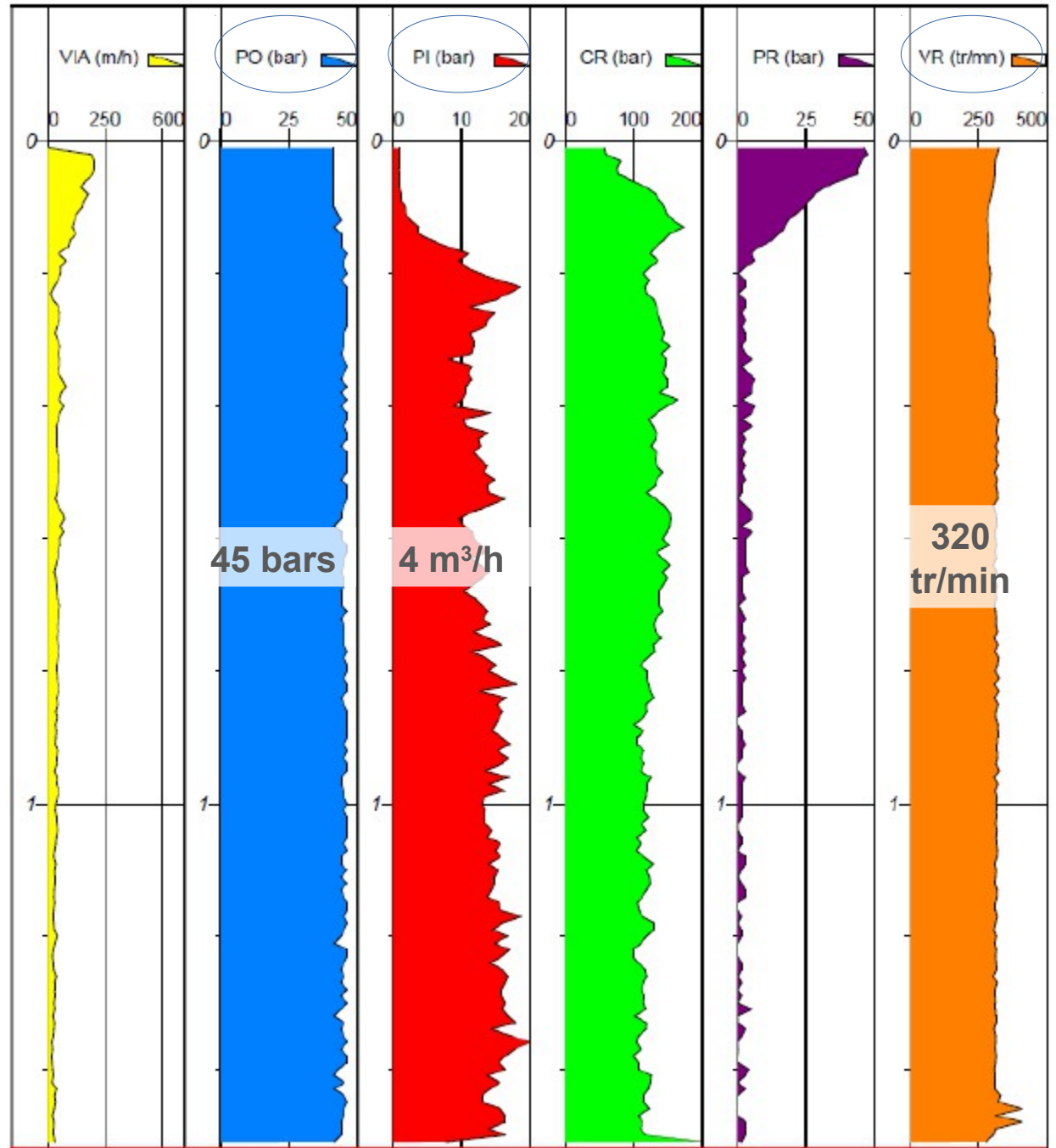


- pressionnaire
- sondage carotté phi 70
- sondage carotté phi 116 triple enveloppe
- tarière phi 100, h=1.50m
- perméabilité en forage
- ◆ tubes de double sonde arasés

- ▲ essai au GPV 25-40
- ◆ prélèvement pour teneur en eau
- essai au Panda
- ★ Sondages carottés 2017



# SC1



# □ Méthodologie de prélèvement de limon traité à la chaux par sondage carotté

## Paramètres de foration :

- ✓ vitesse de rotation VR (tr/min)
- ✓ pression sur l'outil PO (bars)
- ✓ débit du fluide de forage Qf (m<sup>3</sup>/h)

# Réf.

# SC1

# Ro





# Essais sur sondage carotté

## Essais prévus :

- ✓ sondages carottés contradictoires (autres machines)
- ✓ ~~essais de résistance au cisaillement direct à la boîte de Casagrande et/ou essais de résistance au cisaillement triaxial (sous réserve de pouvoir tailler les éprouvettes)~~ + mesures des caractéristiques physiques  $w$ ,  $\rho_h$ ,  $\rho_d$

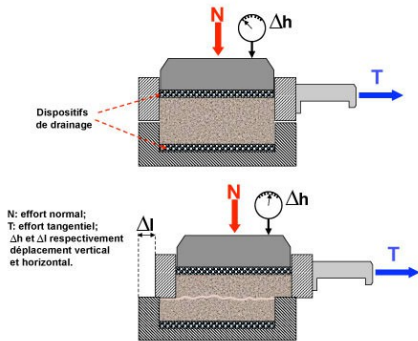
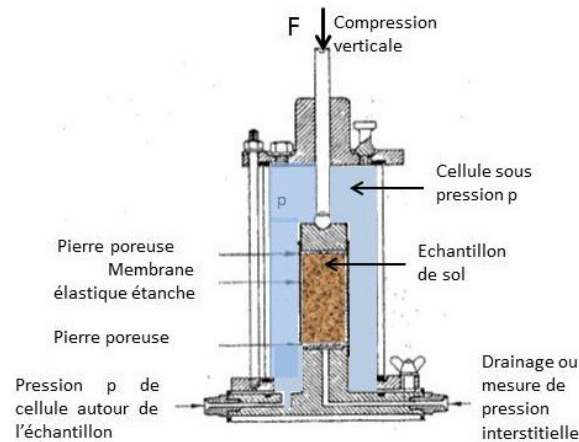


Figure 9.2 : Principe de l'essai de cisaillement direct



## □ Conclusions du projet TERRANOVA

Les études complémentaires sur la digue traitée à la chaux montrent :

- ✓ La faisabilité de produire un modèle de prévision de température et de teneur en eau au sein d'une digue en fonction des prévisions météorologiques (An, 2017)
- ✓ La faisabilité de la méthode photogrammétrique avec une précision millimétrique pour le suivi de l'évolution des talus → méthode à suivre en retirant la végétation et au cours des deux premières années
- ✓ Difficulté de prélever des matériaux traités à la chaux → 5 sondages carottés sur 18 avec un taux de récupération acceptable ; meilleur rendement avec PO élevée (45 bars) et VR modérée (270-320 tr/min)
- ✓ Pas de carbonatation du limon traité à la chaux au-delà de 10 cm de profondeur ; pH élevé attestant de réactions cimentaires secondaires
- ✓ Difficulté pour retailer les carottes pour la réalisation d'essais de mécanique des sols en laboratoire
- ✓ Déconstruction des digues prévue en juillet 2018

Merci de votre attention



IFSTAR



Lhoist