

# Digue expérimentale en limon traité à la chaux



# Objectifs

- Démontrer la faisabilité du traitement spécifique à la chaux préconisée par Lhoist et de la procédure de mise en oeuvre à l'échelle industrielle.
- Corréler les observations en laboratoire sur les propriétés des sols traités à la chaux à l'échelle réelle
- Évaluer l'impact du traitement à la chaux sur les performances mécaniques et hydrauliques, et suivre l'évolution dans le temps.

## Limon naturel

$$\rho_d = 1.82 \text{ t/m}^3 \quad w_{OPN} = 14.5 \%$$

## Limon traité

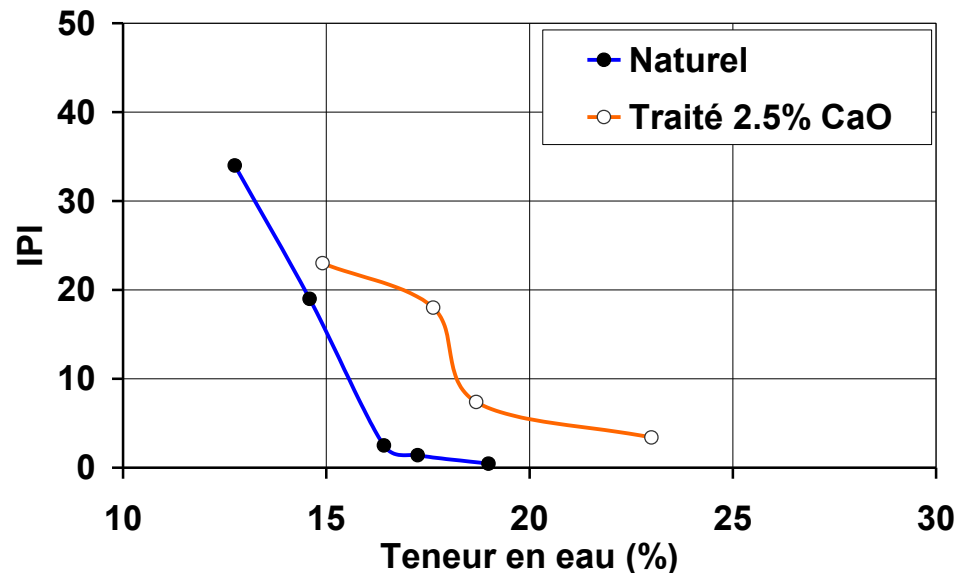
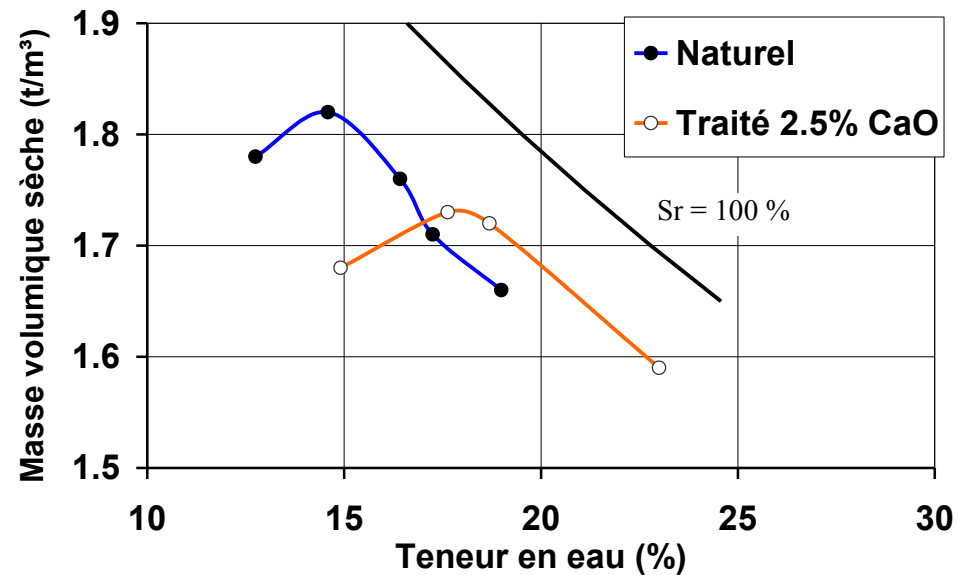
$$\rho_d = 1.73 \text{ t/m}^3 \quad w_{OPN} = 17.8 \%$$

## Limon de Marche-Les-Dames (Belgique)

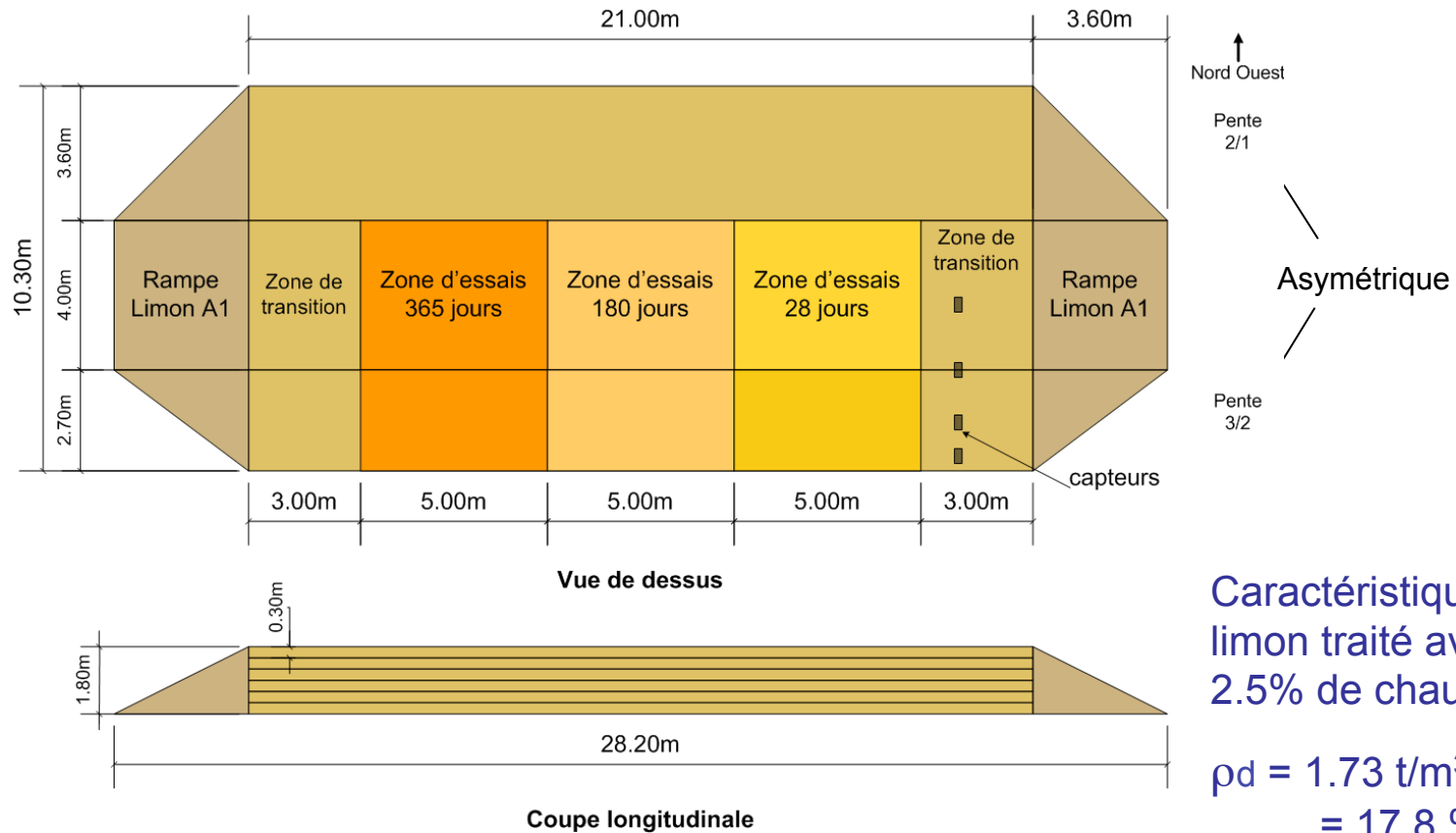
A2 (NF P 11 300)

IP = 14; VBS = 2.4

$W_p = 23\%$   $W_L = 37\%$



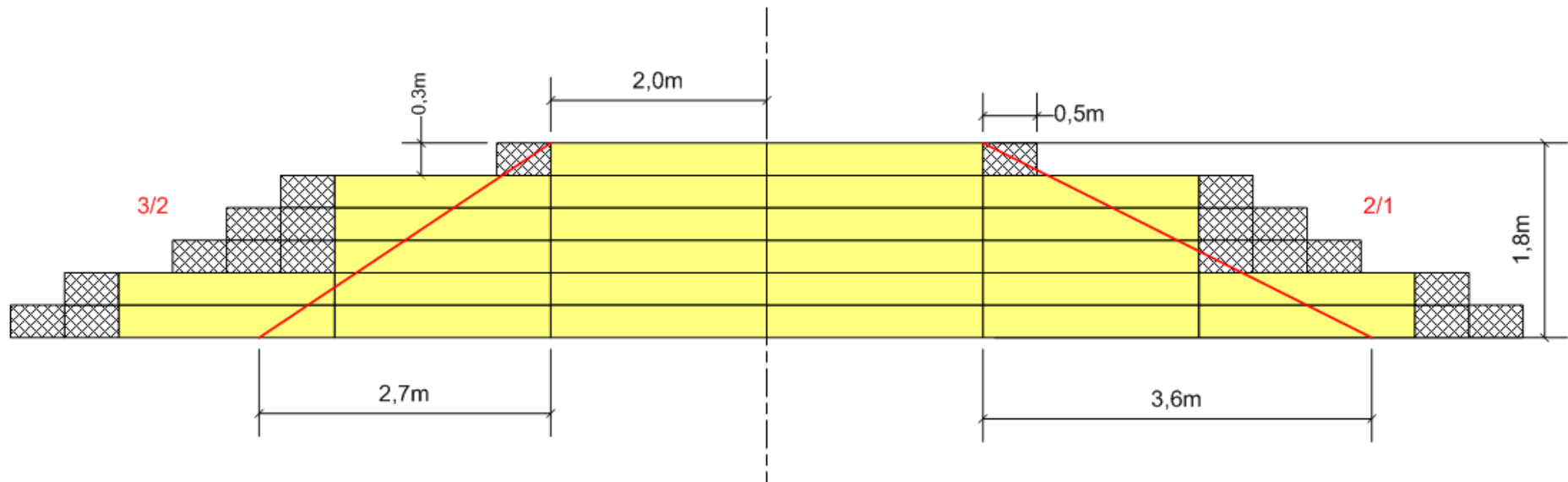
# Structure expérimentale en limon traité



Caractéristiques du limon traité avec 2.5% de chaux :

$$\rho_d = 1.73 \text{ t/m}^3 \text{ WOPN} = 17.8 \%$$

# Structure expérimentale en limon traité

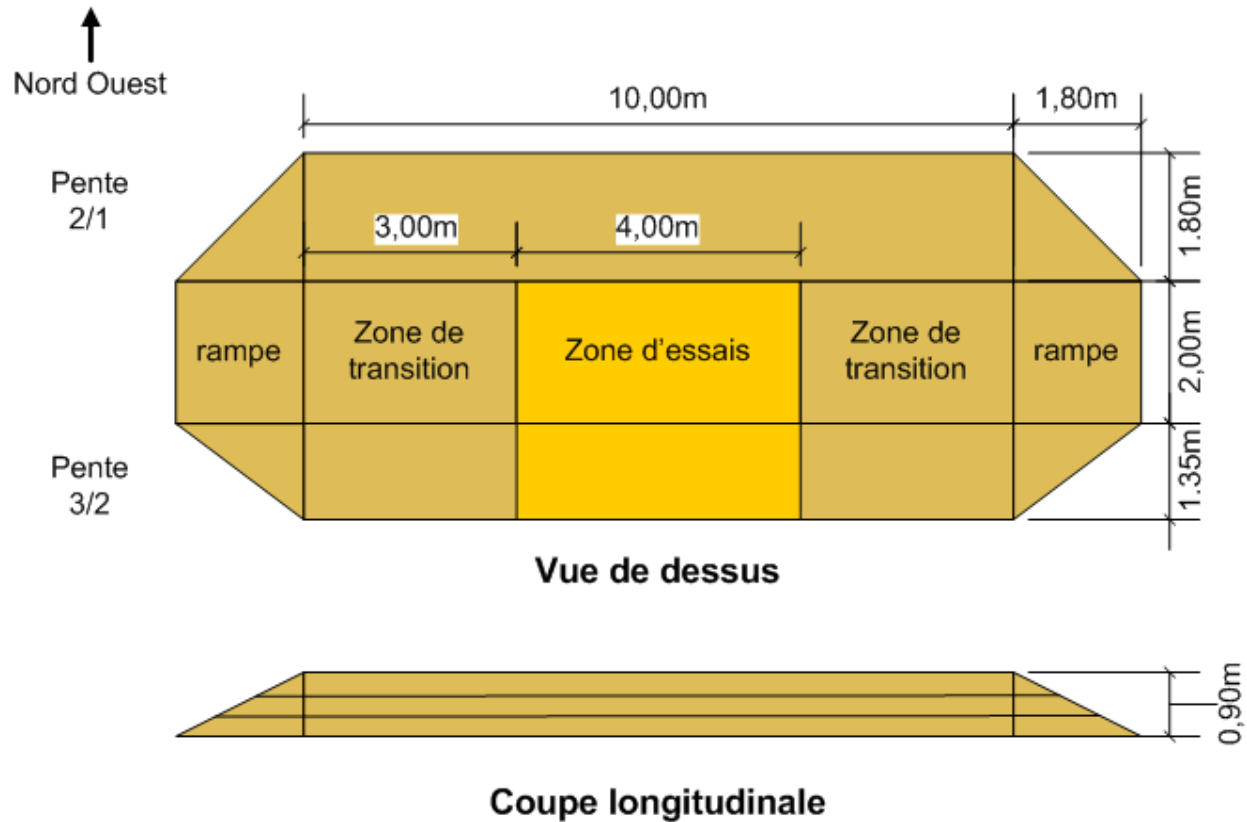


- ▨ Largeur de sécurité
- Largeur de compactage au VP5
- Pente finale taillée

Section transversale de la digue en limon A2 traité  
 $S = 19 \text{ m}^2$

Volume de limon A2 pour une longueur de casier de 5 m  
 $V = 400 \text{ m}^3$

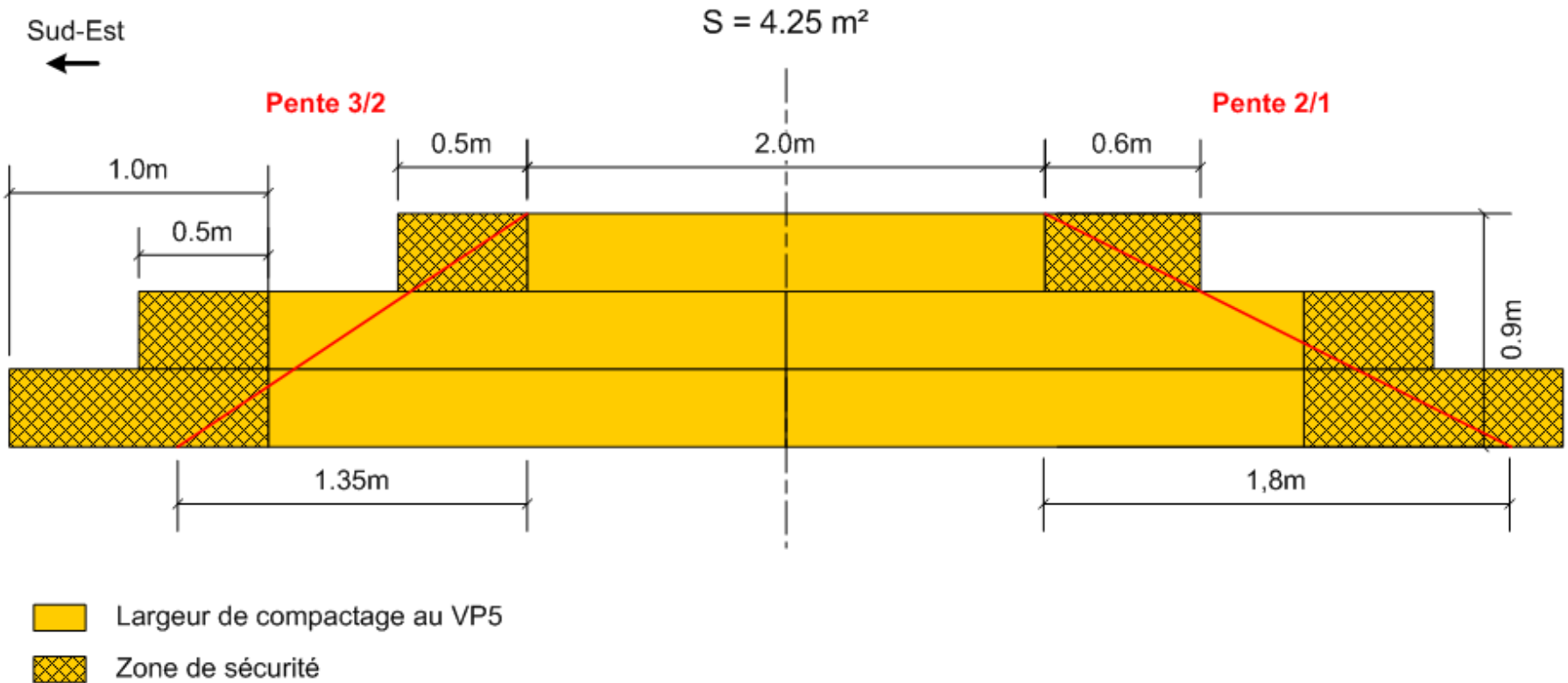
# Structure en limon non traité



Caractéristiques du limon naturel :  $\rho_d = 1.82 \text{ t/m}^3$   $WOPN = 14.5 \%$

# Structure en limon non traité

Section transversale de la planche en limon non traité



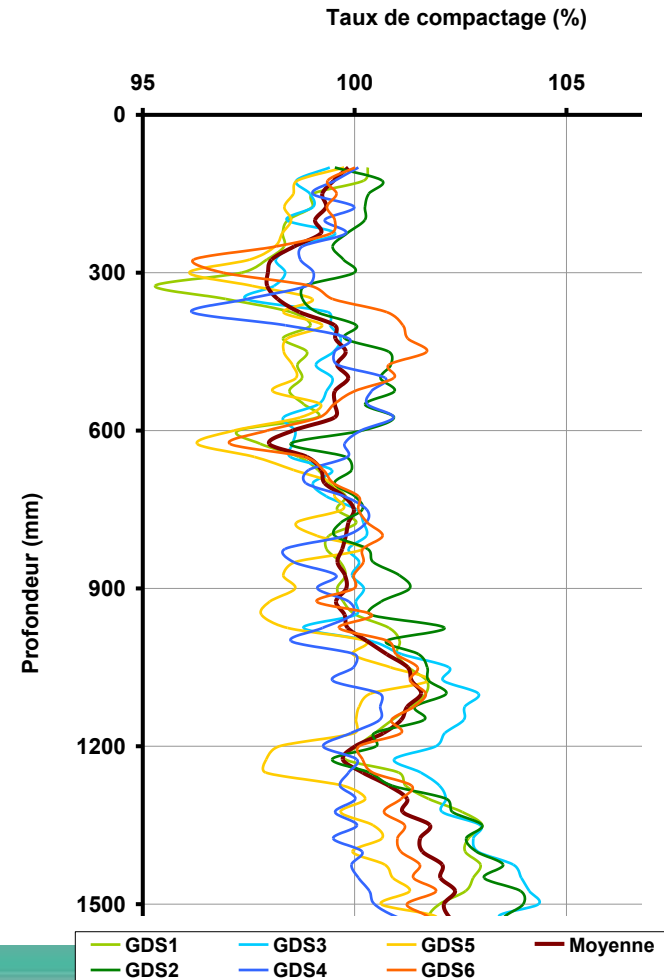
# Construction - sept 2011

# Mesures pendant la construction

## Homogénéité du matériau traité mis en oeuvre

- Teneur en eau
  - moyenne = 19.4 % (OPN + 1.6 %)
  - écart-type = 0.7 % (118 mesures)
- Masse volumique sèche (GPV 25-40)
  - 96.7 %  $\rho_{d\text{ OPN}}$  (objectif  $\geq 95\%$   $\rho_{d\text{ OPN}}$ )
  - couche de surface : 98.5 %  $\rho_{d\text{ OPN}}$
  - écart-type = 1.1 % (42 mesures)

Taux de compactage calculé à partir de mesures de masse volumique (Double sonde gamma GDS200)



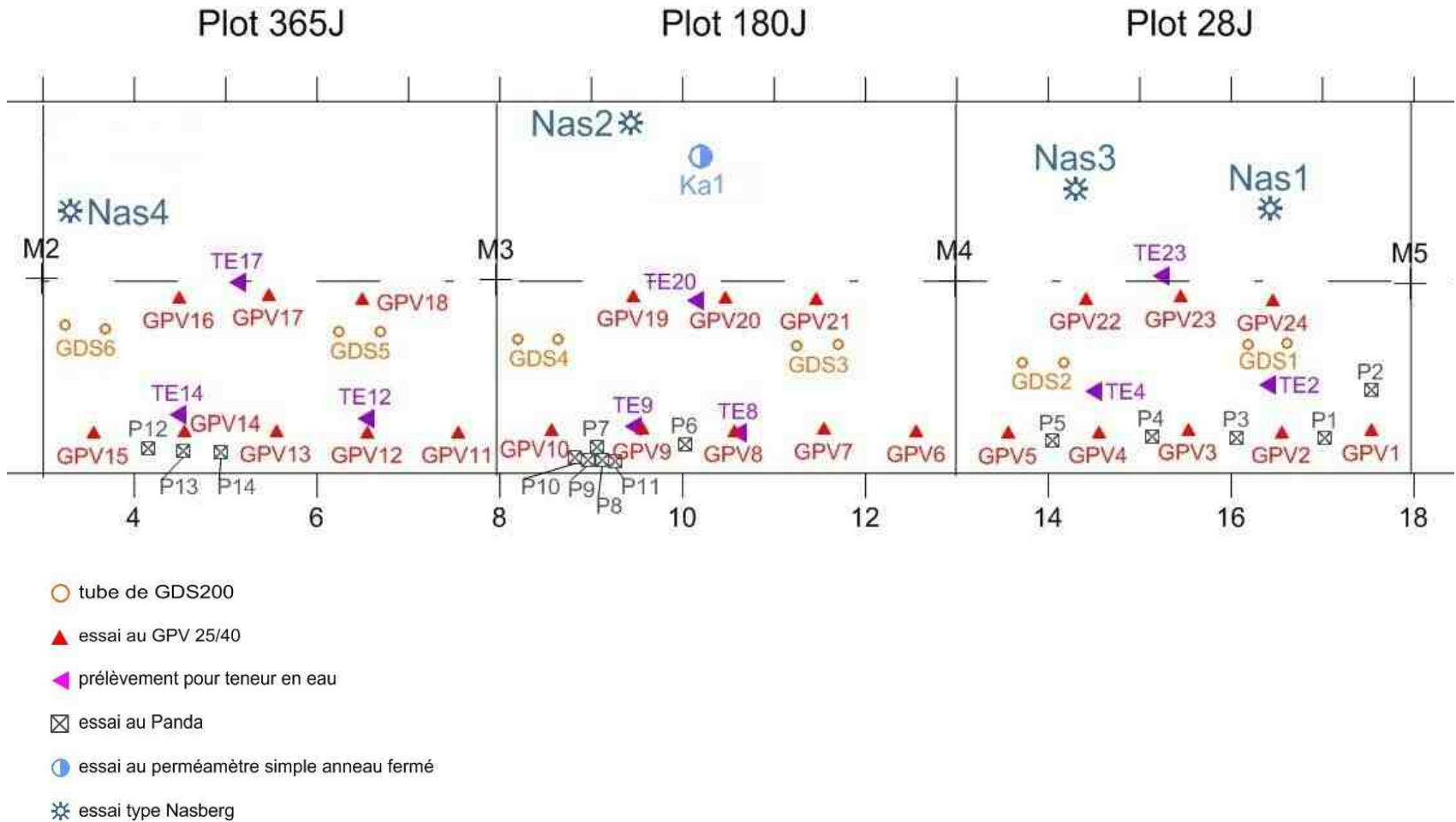
# Campagnes d'essais



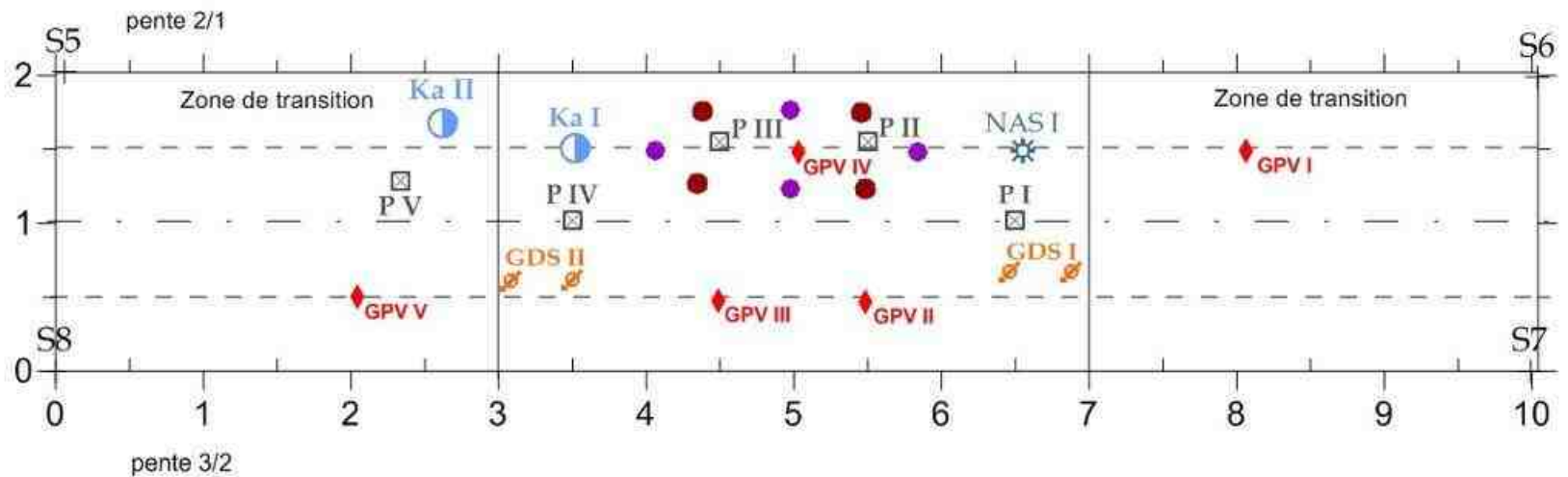
Trois campagnes réalisées après la construction :




- 28 jours
- 6 mois
- 1 an

# Essais sur limon traité



# Essais sur limon non traité



-  tube de GDS200
-  essai au GPV 25/40
-  essai au Panda
-  prélèvement par trousse coupante phi 80
-  prélèvement par trousse coupante phi 116
-  essai au perméamètre simple anneau fermé
-  essai type Nasberg

# Résistance de pointe

## Limon traité

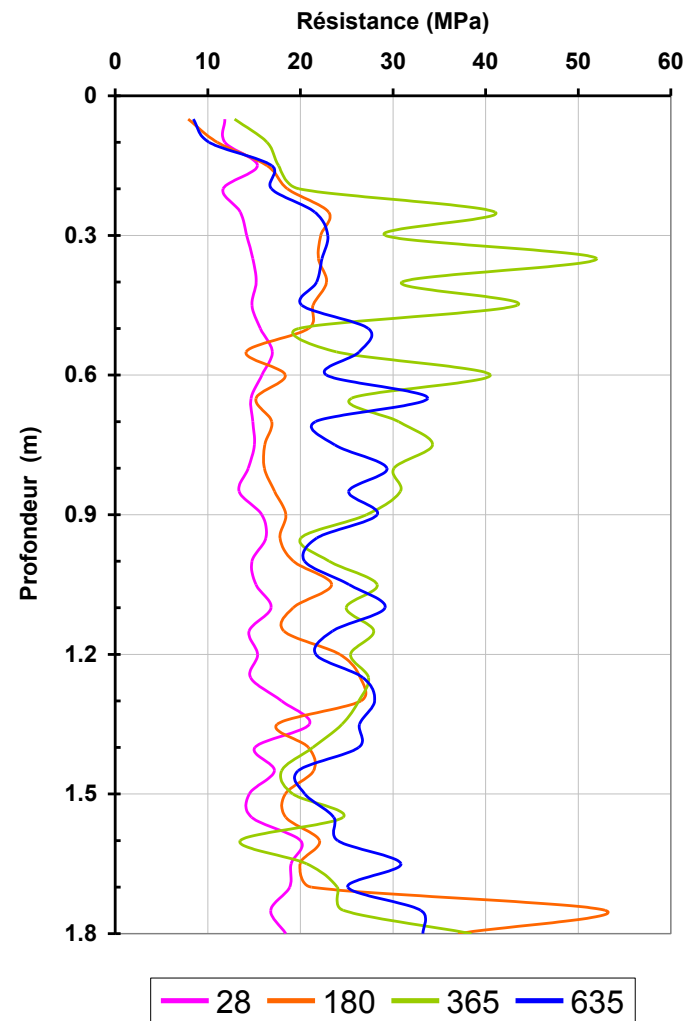
### Pénétromètre Panda



- Interpolation par pas de 5cm de profondeur
- Moyenne par campagne d'essais
- Augmentation de la résistance pendant un an
- Comportement asymptotique après un an

### Moyenne de -20 à -160 cm

Campagne d'essais	28 jours	6 mois	1 an	1 an et 9 mois
Résistance (MPa)	16	21	28	26



# Résistance de pointe **Limon non traité**

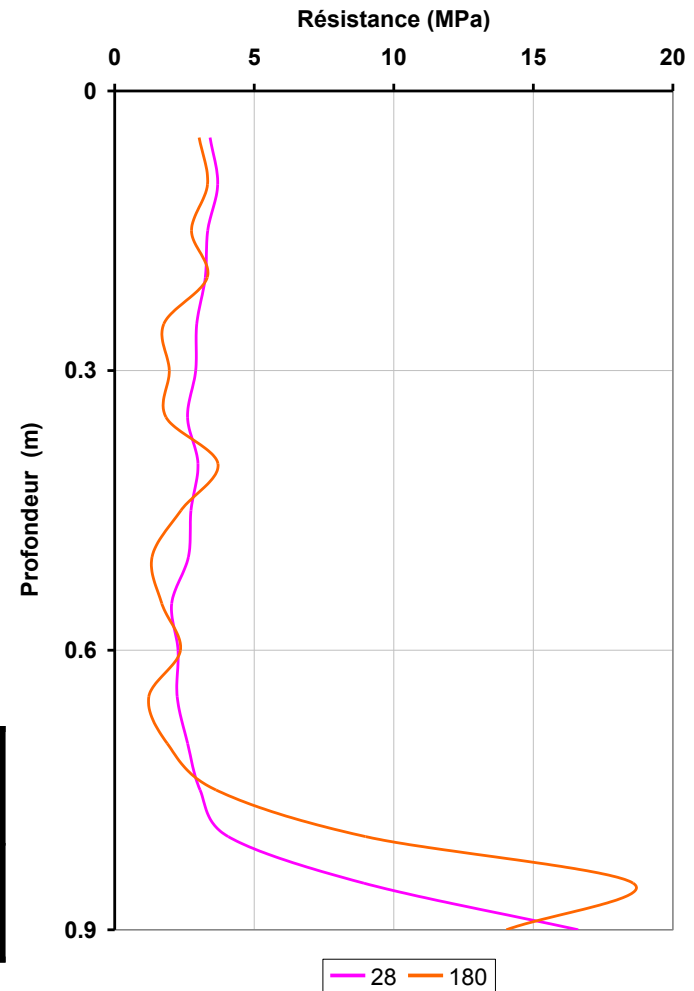
## Pénétromètre Panda



- Interpolation par pas de 5cm de profondeur
- Moyenne par campagne d'essais
- Pas d'évolution significative

Moyenne de -20 à -160 cm

Campagne d'essais	28 jours	6 mois
Résistance (MPa)	4.5	4.3



# Teneur en eau mesurée sur prélèvements

## Limons traités

Période de mesure	Mise en œuvre	28 jours	180 jours	365 jours
Teneur en eau moyenne (%)	19.4	18.6	19.1	19.1

## Limons non traités

Période de mesure	Mise en œuvre	28 jours	180 jours
Teneur en eau moyenne (%)	17.0	17.0	15.8

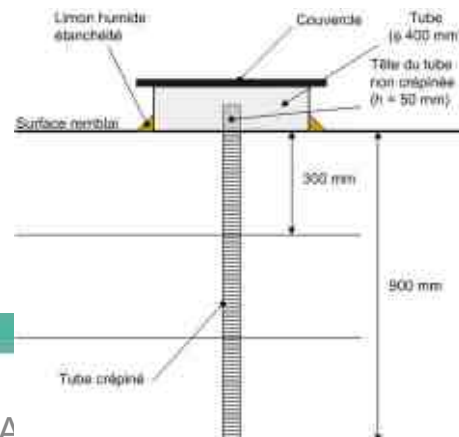
# Perméabilité

	Sol non traité	Sol traité		
		28 jours	6 mois	1 an
<b>In situ, Nasberg :</b> (LR Blois) (CER)	$1,5 \cdot 10^{-9}$ m/s	$0,8 \cdot 10^{-9}$ m/s $2,8 \cdot 10^{-9}$ m/s	$2 \cdot 10^{-9}$ m/s $3,9 \cdot 10^{-8}$ et $9,4 \cdot 10^{-9}$ m/s	$8,5 \cdot 10^{-9}$ m/s $1,2 \cdot 10^{-8}$ m/s
<b>In situ, surface (CER) :</b>	$1 \cdot 10^{-9}$ m/s		$1,2 \cdot 10^{-9}$ m/s	
<b>Sur carottes :</b> Essais triaxiaux (CD)	$1,1 \cdot 10^{-9}$ m/s	$2,8 \cdot 10^{-9}$ m/s	$1 \cdot 10^{-9}$ m/s	$1 \cdot 10^{-9}$ m/s

## Perméabilité de surface



## Perméabilité en forage crépiné (CER)



## Perméabilité en forage (LR Blois)



# Effet du traitement sur les propriétés mécaniques

- Résistance au cisaillement

## Essais triaxiaux sur échantillons carottés

	Non traité	Traité à la chaux		
c (kPa)		Pic (CD)	Palier (résiduel - CD)	Palier (résiduel - CU)
	0 kPa (conventionnel)	75 kPa (75 j) 100 kPa (195 j) 110 kPa (1 an)	40 kPa (75 j) 60 kPa (195 j) 75 kPa (1 an)	70 kPa (75 j) 90 kPa (195 j) 110 kPa (1 an)
$\varphi$ (°)	35°	39°	38° à 41°	37° à 39°

# Effet du traitement sur les propriétés mécaniques

- Mesures de modules

## Essais in situ au pressiomètre et au dilatomètre

	Non traité	Traité à la chaux			
		28 jours	180 jours	1 an	2 ans
<b>Pressiomètre :</b> Pression limite Module	0.25 MPa 1.6 MPa	3.8 MPa 38.6 MPa	4.2 MPa 52.7 MPa	6.0 MPa 81.6 MPa	
<b>Dilatomètre :</b> Module de déformation (G) Module Young cyclique (E)	- -	- -	50 à 90 MPa 400 à 480 MPa	- -	160 à 270 MPa 640 à 960 MPa

# Effet du traitement sur la résistance à l'érosion

- Érosion externe :

essais in situ avec l'érodimètre à jets mobiles



- Érosion interne :

essais en laboratoire d'érosion de trou (HET) sur échantillons carottés



Amélioration avec le traitement de la résistance à l'érosion du matériau

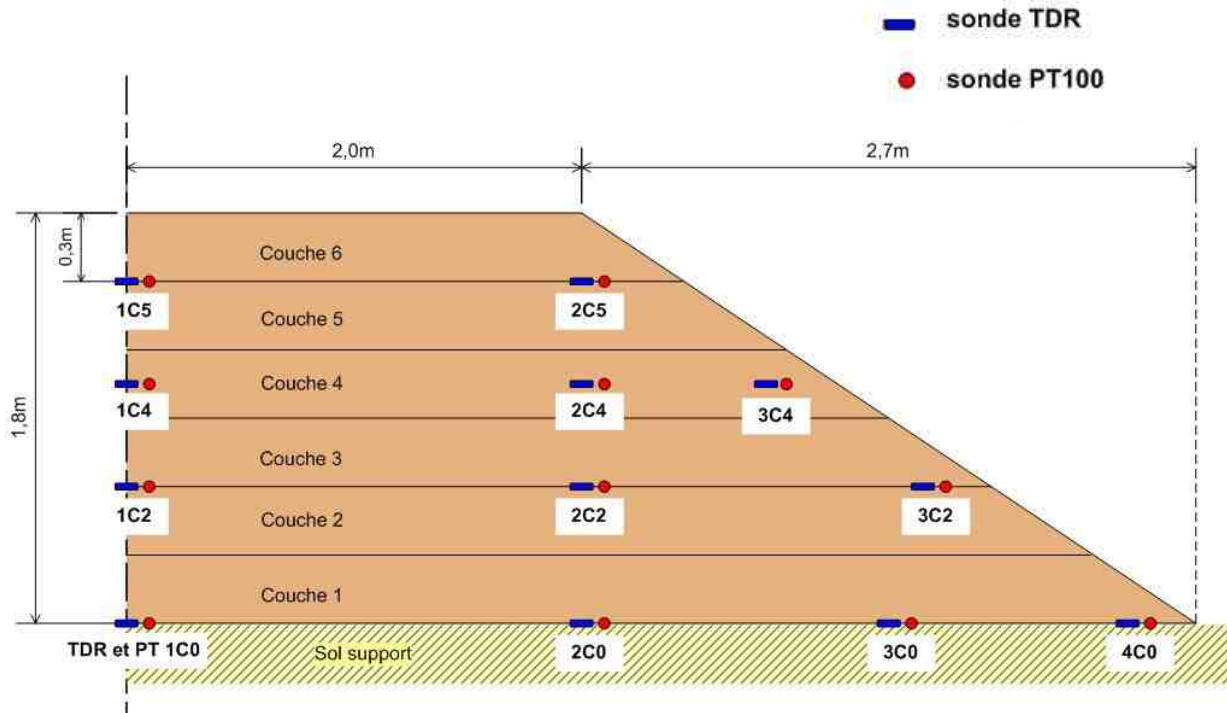
Sol non traité



Sol traité à la chaux



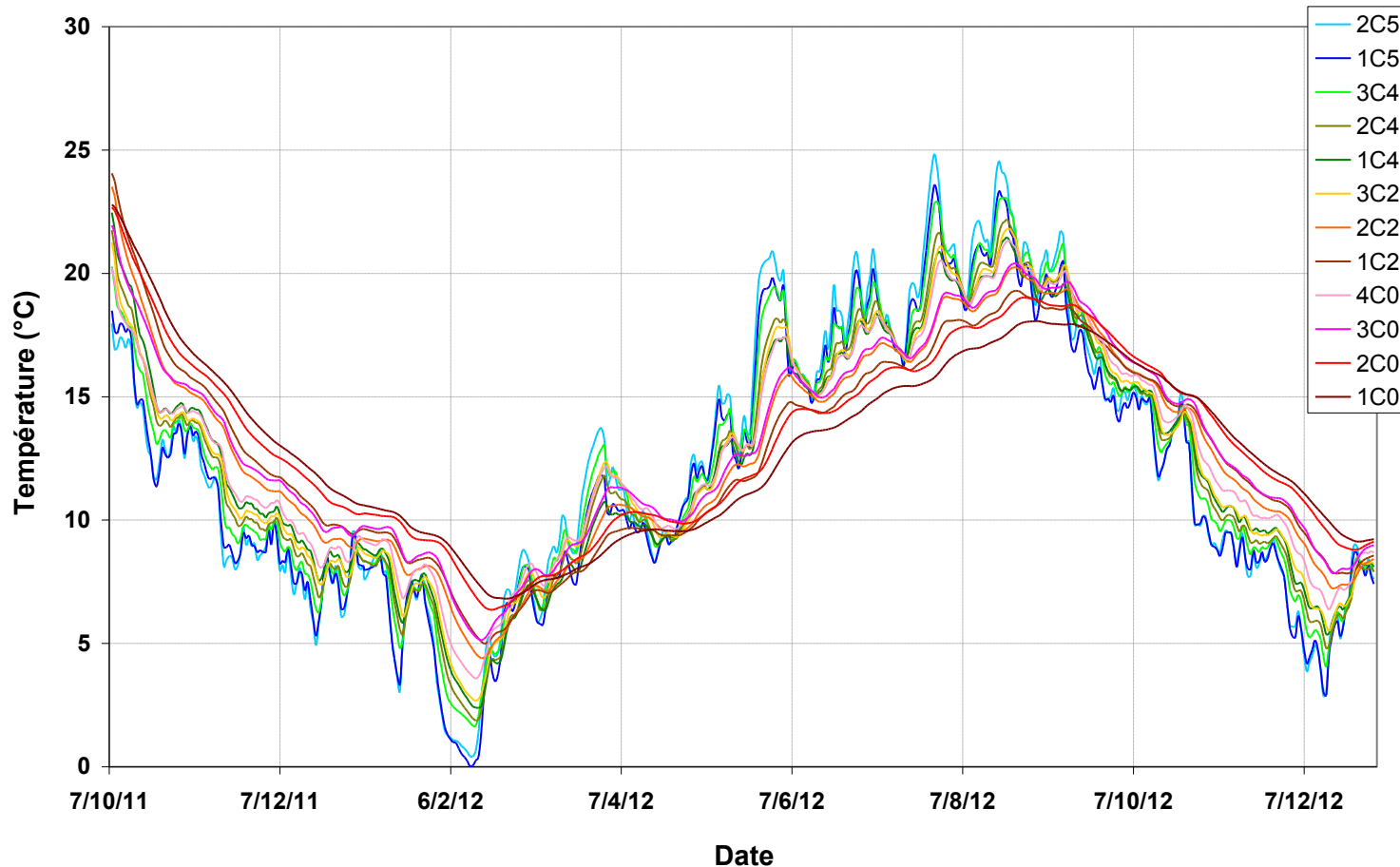
# Suivi continu - Instrumentation



PT100 (température) TDR (teneur en eau)

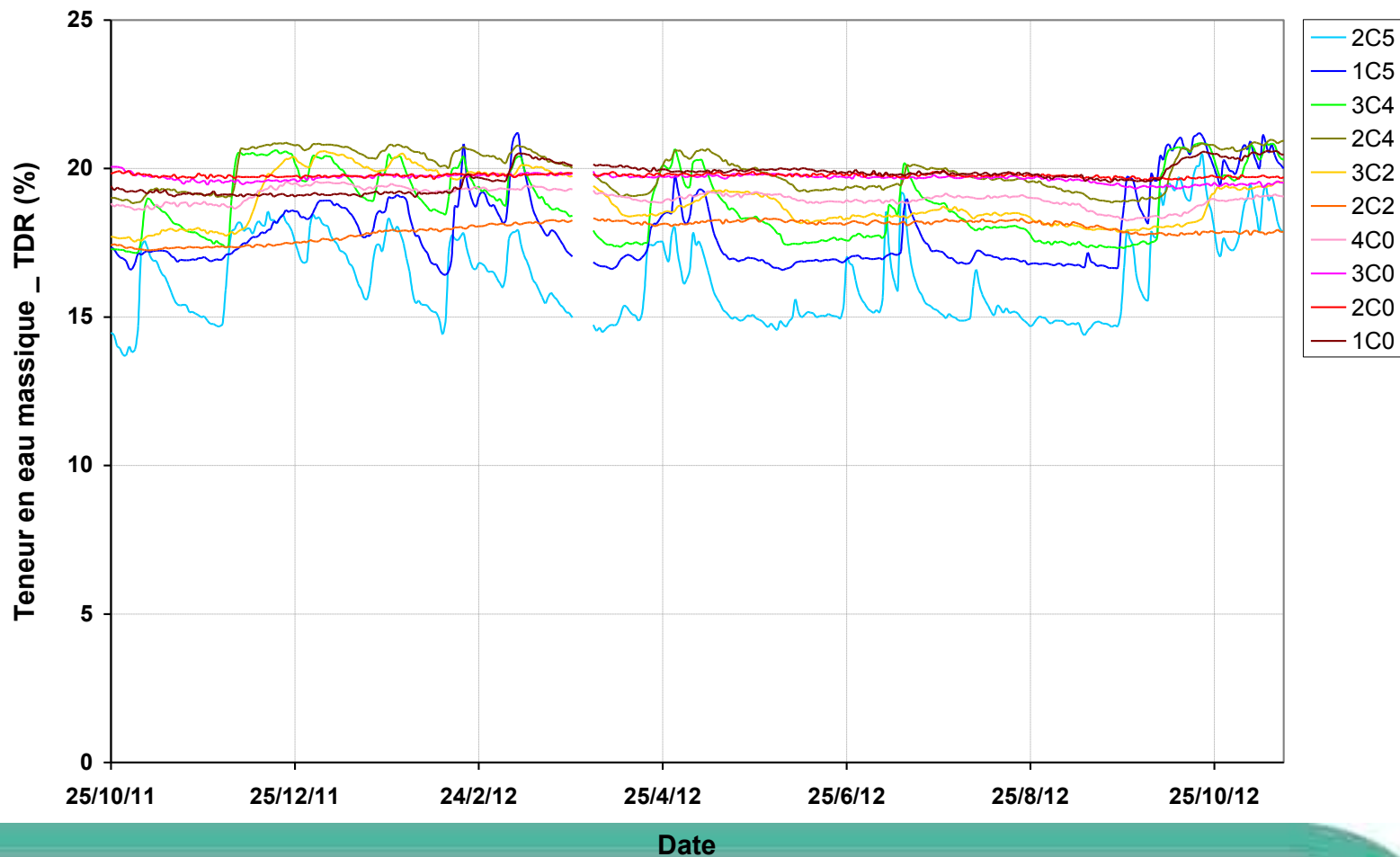
# Suivi continu - Instrumentation

## Évolution de la température à l'intérieur de la digue en limon traité



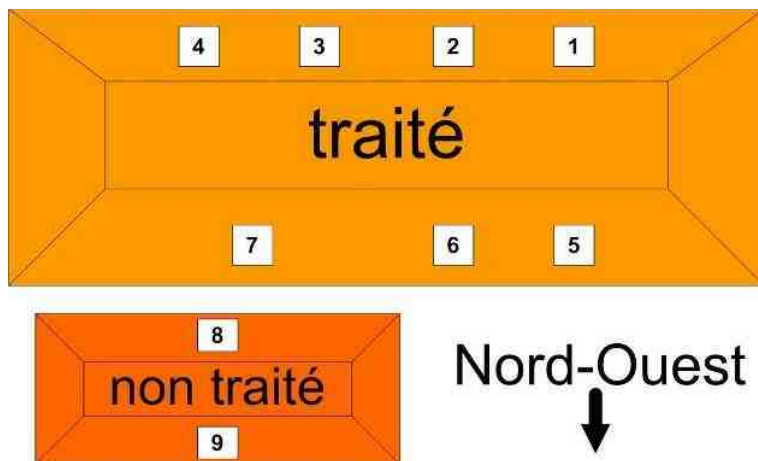
# Suivi continu - Instrumentation

Évolution de la teneur en eau volumique à l'intérieure de la digue en limon traité



# Observation des talus

Position des cadres sur les talus



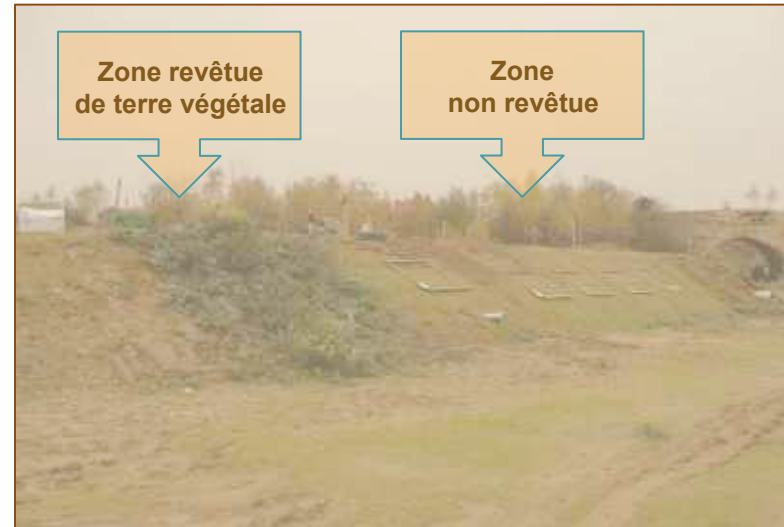
Talus digue en limon traité



Talus digue en limon non traité



# Végétalisation



- Pellicule de sol plus friable en surface (2 à 3 cm), puis matériau rigide en massif
- Végétation peu abondante (2 ans)
- Système racinaire longeant le massif et non pas "vertical"

# Conclusion

**Les résultats des mesures sur la digue traitée à la chaux en comparaison avec la digue non traitée montrent :**

- la faisabilité de produire un matériau traité à la chaux avec un niveau d'homogénéité élevé,
- l'augmentation des paramètres de performance mécanique et leur accroissement au cours du temps,
- la préservation des niveaux de perméabilité très faibles,
- l'accroissement de la résistance à l'érosion,
- une bonne résistance à la pénétration du réseau racinaire de la végétation.



**Cerema**

Centre d'études et d'expertise sur les risques,  
l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Merci de votre attention

