

Amélioration et renforcement des sols

Instrumentation, un outil pour les
chantiers d'amélioration des sols

Laurent Briançon – INSA de Lyon

26 AVRIL 2018



Contenu

- Introduction
- Paramètres mesurés
- Techniques nécessitant une instrumentation
- Plan d'auscultation
- Moyens de mesure
- Mise en œuvre
- Suivi et interprétation
- Quelques exemples
- Conclusions

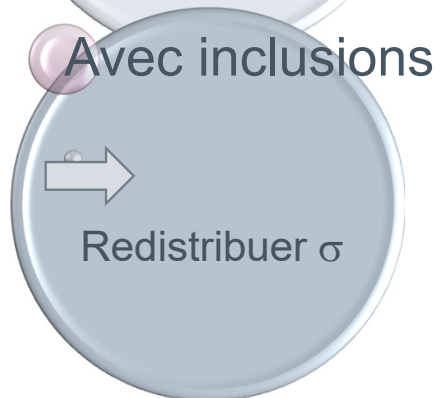
Introduction

Pourquoi instrumenter ?

- Pour comprendre
- Pour vérifier
- Pour calibrer

- Pour suivre
- Pour anticiper
- Pour rassurer

Paramètres mesurés

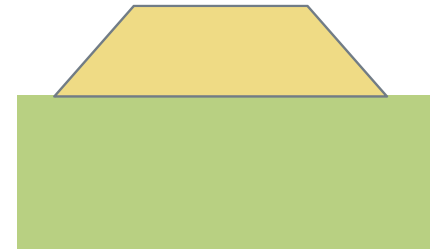


Vibratoire



Compactage dynamique
Vibrocompactage

Statique



Compactage statique
Consolidation

Sans liant



Substitution dynamique
Colonnes ballastées

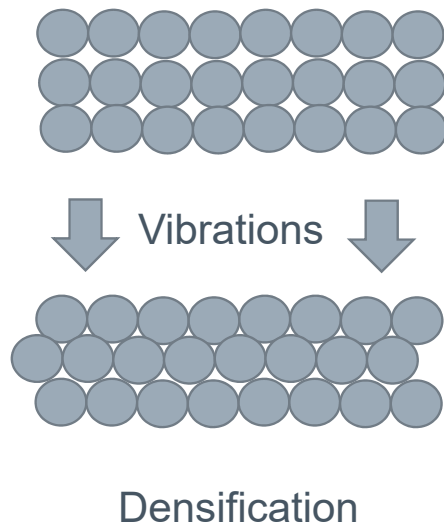
Avec Liant



Jet Grouting
Soil mixing
Inclusions rigides

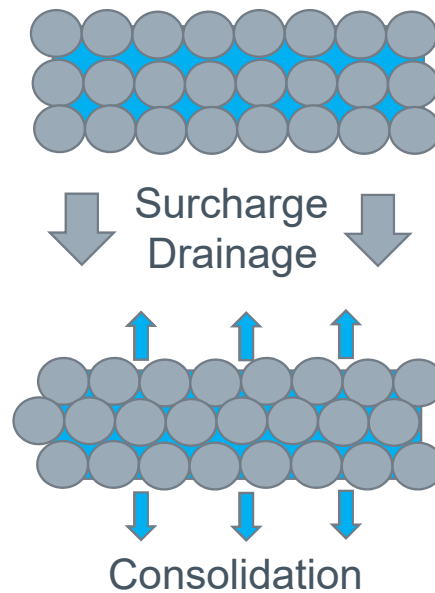
Paramètres mesurés

Sols grenus

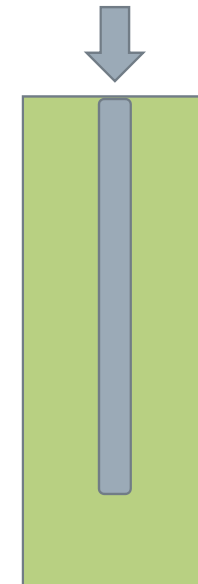


ΔH

Sols fins



$\Delta H, \Delta u$



$\Delta H, \Delta u, \Delta \sigma$

Techniques d'amélioration de sol nécessitant une instrumentation

	ΔH	Δu	$\Delta \sigma$	Contrôles
Compactage dynamique	XX	X		XX
Substitution dynamique	XX			XX
Vibrocompactage	XX			XX
Compactage à l'explosif	XX			XX
Préchargement	XX	XX		
Consolidation atmosphérique	XX	XX		
Colonnes ballastées	XX			XX
Inclusions rigides	XX	X	X	
Méthodes biologiques	X			XX
Injectons	X			XX
Soil mixing	X			XX
Jet grouting	X			XX

Plan d'auscultation

1. Paramètres à suivre

2. Points de mesures

- Représentativité
- Redondance
- Discrétion

3. Choix des capteurs

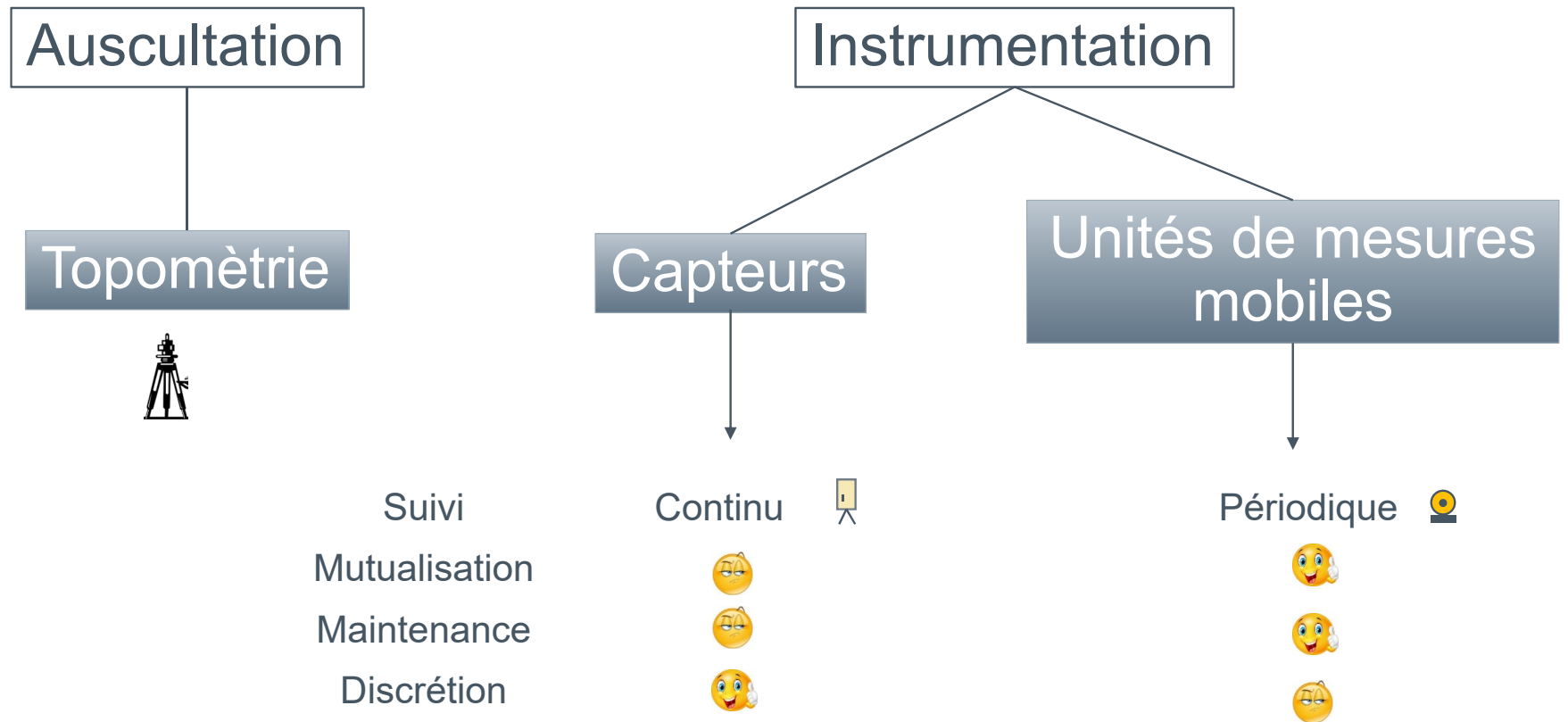
- Technologie
- Plage de mesure
- Précision
- Discrétion
- Conditions environnementales
- Capteurs de référence

4. Fréquence des enregistrements



Choix du système d'auscultation

Les moyens de mesure



Les moyens de mesure

Mesure du tassement

Différentes techniques permettent de mesurer le tassement :

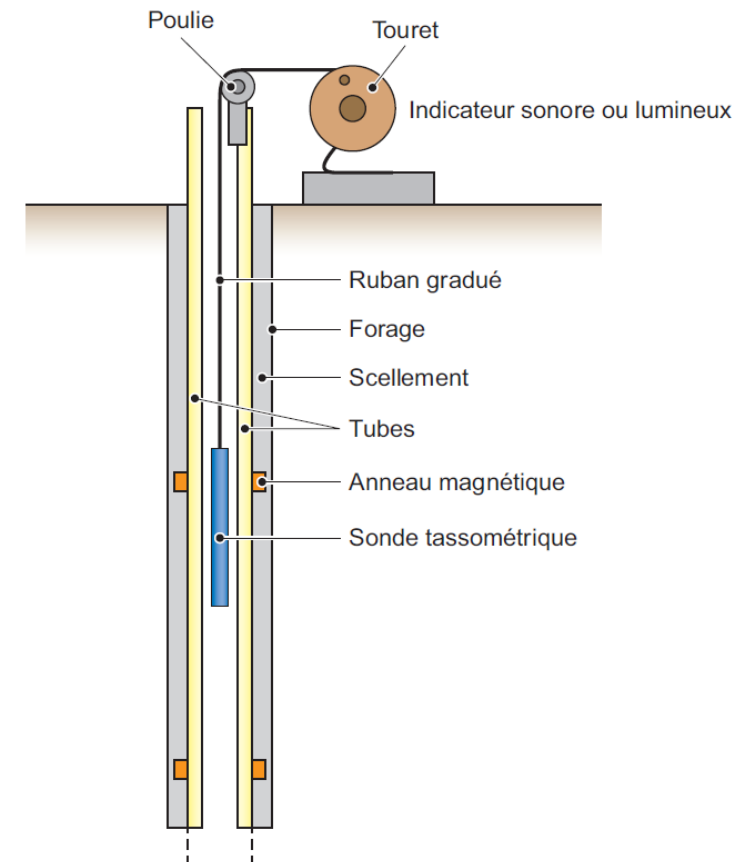
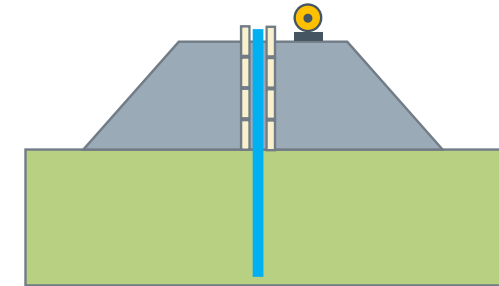
- tassomètre magnétique en forage ;
- extensomètre multipoint en forage ;
- boule tassométrique ;
- pige tassométrique ;
- capteur de tassement hydraulique ;
- profilomètre ;
- inclinomètre horizontal.

Les moyens de mesure

Mesure du tassement

Différentes techniques permettent de mesurer le tassement :

- **tassomètre magnétique en forage ;**
- extensomètre multipoint en forage ;
- boule tassométrique ;
- pige tassométrique ;
- capteur de tassement hydraulique ;
- profilomètre ;
- inclinomètre horizontal.

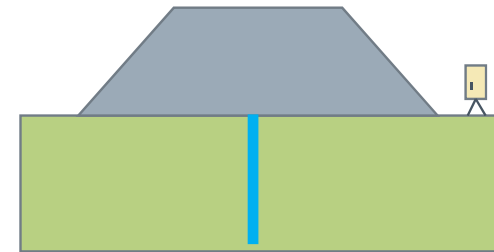


Les moyens de mesure

Mesure du tassement

Différentes techniques permettent de mesurer le tassement :

- tassomètre magnétique en forage ;
- **extensomètre multipoint en forage ;**
- boule tassométrique ;
- pige tassométrique ;
- capteur de tassement hydraulique ;
- profilomètre ;
- inclinomètre horizontal.

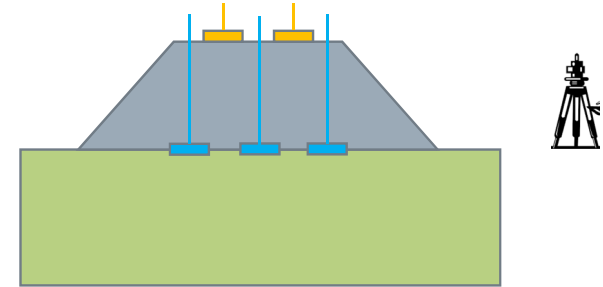


Les moyens de mesure

Mesure du tassement

Différentes techniques permettent de mesurer le tassement :

- tassomètre magnétique en forage ;
- extensomètre multipoint en forage ;
- boule tassométrique ;
- **pige tassométrique** ;
- capteur de tassement hydraulique ;
- profilomètre ;
- inclinomètre horizontal

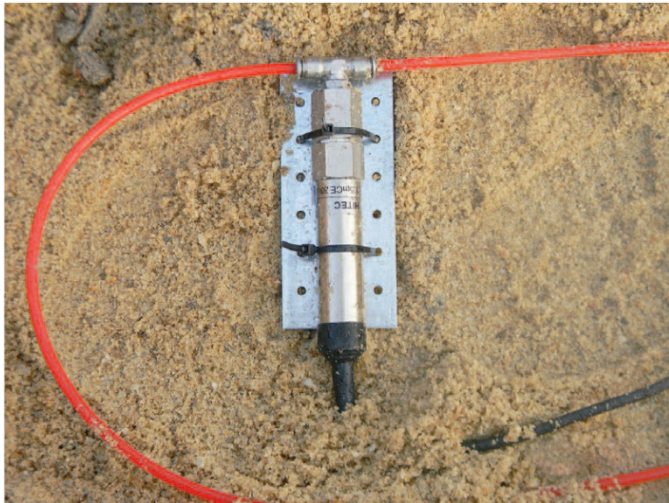


Les moyens de mesure

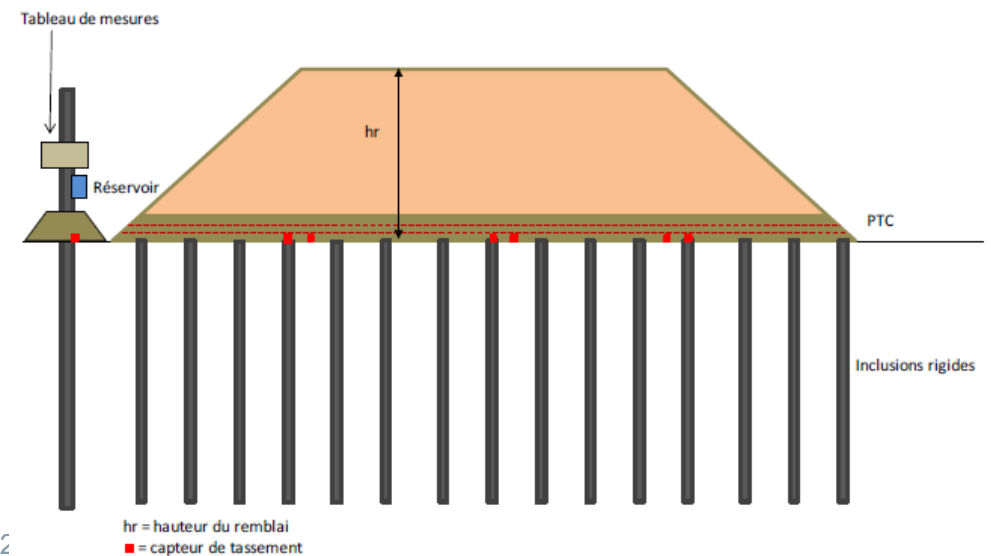
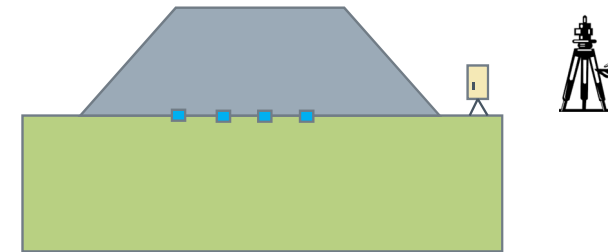
Mesure du tassement

Différentes techniques permettent de mesurer le tassement :

- tassomètre magnétique en forage ;
- extensomètre multipoint en forage ;
- boule tassométrique ;
- pige tassométrique ;
- **capteur de tassement hydraulique ;**
- profilomètre ;
- inclinomètre horizontal.



AVRIL 2



Les moyens de mesure

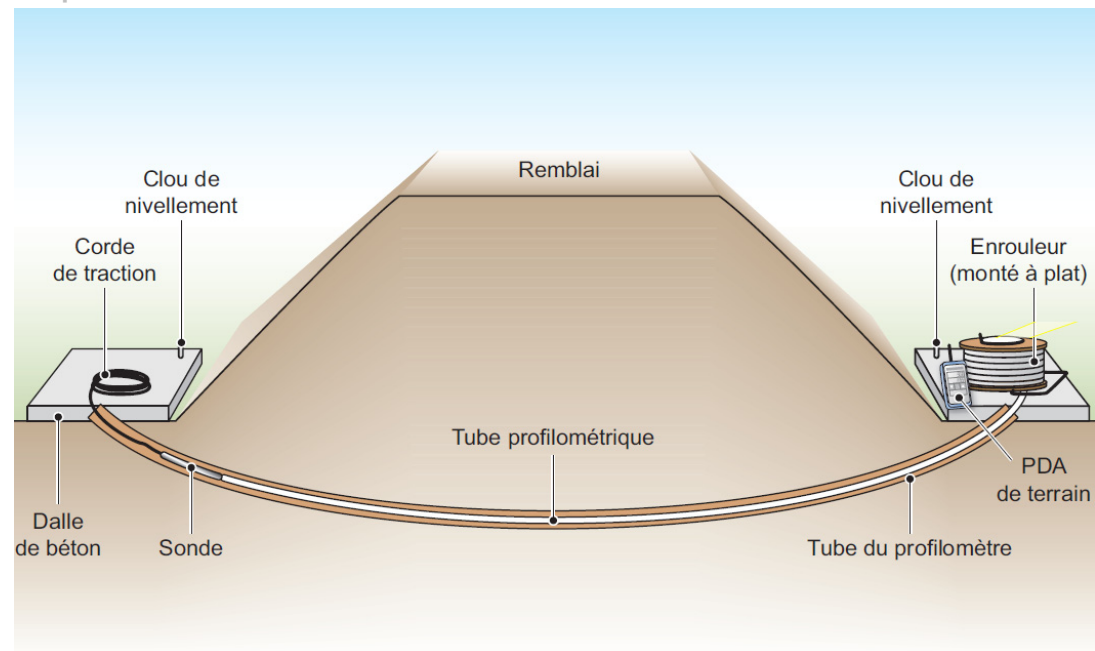
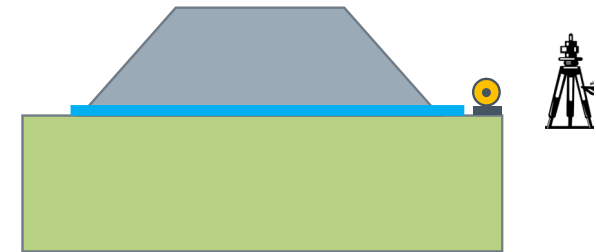
Mesure du tassement

Différentes techniques permettent de mesurer le tassement :

- tassomètre magnétique en forage ;
- extensomètre multipoint en forage ;
- boule tassométrique ;
- pige tassométrique ;
- capteur de tassement hydraulique ;
- **profilomètre ;**
- **inclinomètre horizontal.**

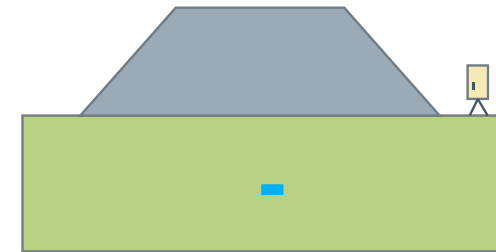


Fondasol ©



Les moyens de mesure

Mesure de la pression interstitielle

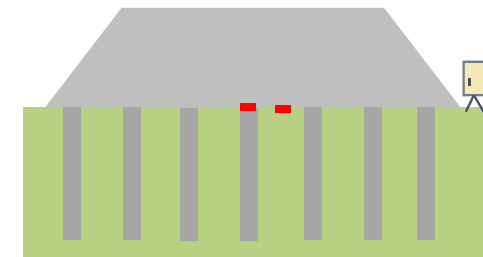


■ CPI



Les moyens de mesure

Mesure du transfert de charge



- CPT

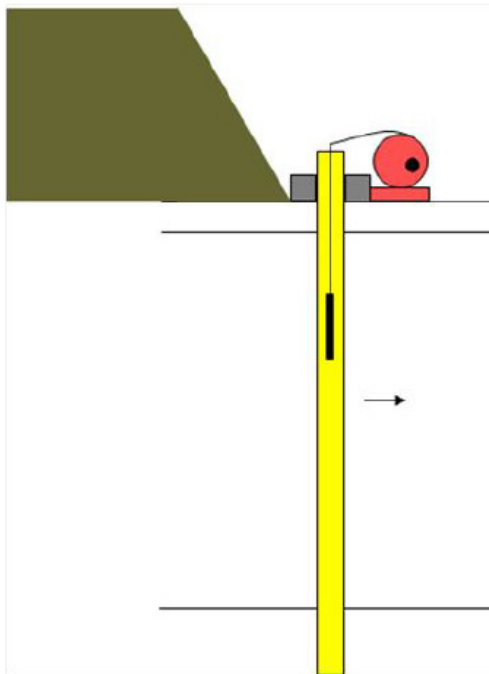
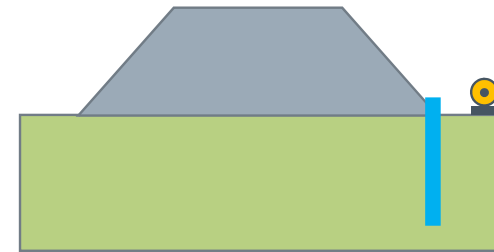
Capteur de pression totale



Les moyens de mesure

Mesure des déplacements horizontaux

NF P 94-156



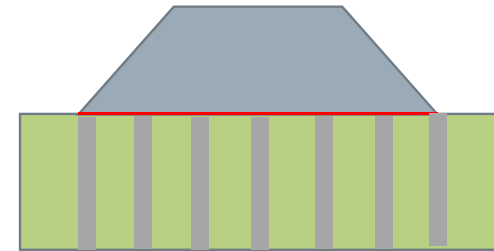
26 AVRIL 2018

FNTP - CFMS

17

Les moyens de mesure

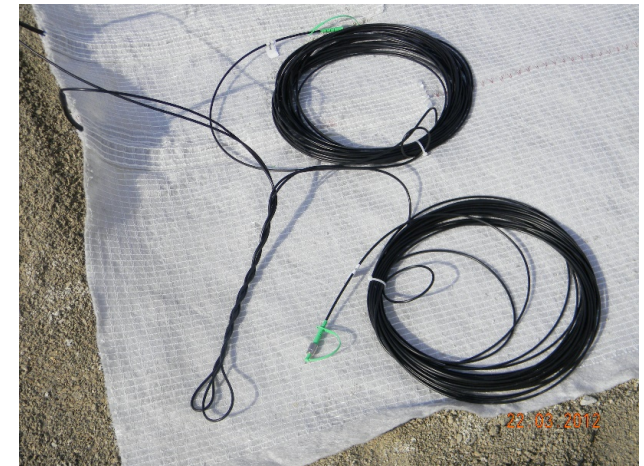
Mesures spécifiques : ε des GSY



	Mesure	Résolution spatiale	Longueur de fibre	Résolution
Reseaux de Bragg	Ponctuelle	centimétrique	Quelques mètres	$\mu\epsilon$
Reflecto Brillouin	Répartie	métrique	Plusieurs kilomètres	$\mu\epsilon$
Reflecto Rayleigh	Répartie	millimétrique	10 - 50 mètres	$\mu\epsilon$

Avantages : discrétion, précision

Limites : coût



Mise en œuvre

Intégration de la pose de l'instrumentation dans le planning des travaux

Élément à part entière de l'ouvrage

Rapport de mise en place :

- L'implantation
- Le mode opératoire d'installation
- La fiche de chaque capteur
- La valeur initiale de chaque capteur
- Les équations permettant de passer du signal transmis à la mesure physique
- Le plan de connexion à la centrale d'acquisition
- Le planning de maintenance si nécessaire

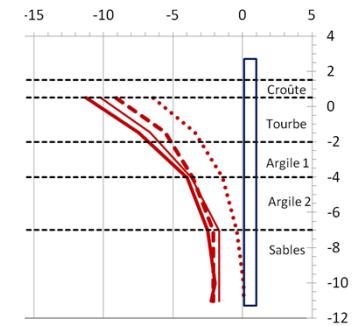
Suivi et interprétation



Acquisition



Transfert

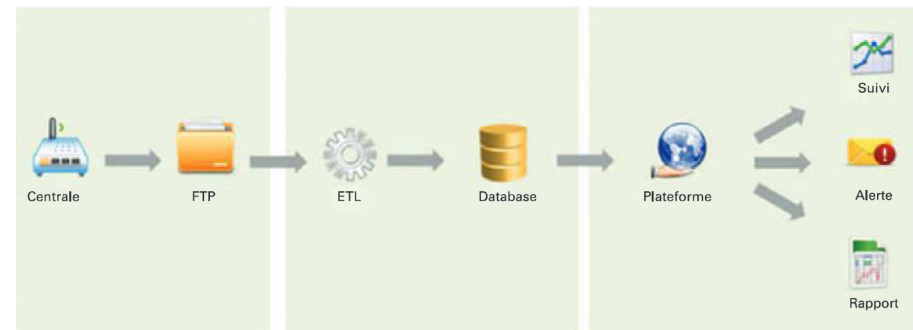


Exploitation



Acquisition

Exploitation



Bancarisation

Suivi et interprétation

Mise en place d'une stratégie de détection des défaillances du système d'auscultation

Interprétation

→ Prendre en compte des facteurs extérieurs
Comprendre le comportement
Prévoir les évolutions

Rapport d'auscultation

Suivi et interprétation

Rapport d'auscultation :

- Bilan de l'état de l'ouvrage
- Traitement et analyse des mesures
- Présentation des mesures sous forme de graphiques
- Interprétation des mesures
- Evolution du comportement de l'ouvrage
- Recommandations sur l'auscultation

Quelques exemples

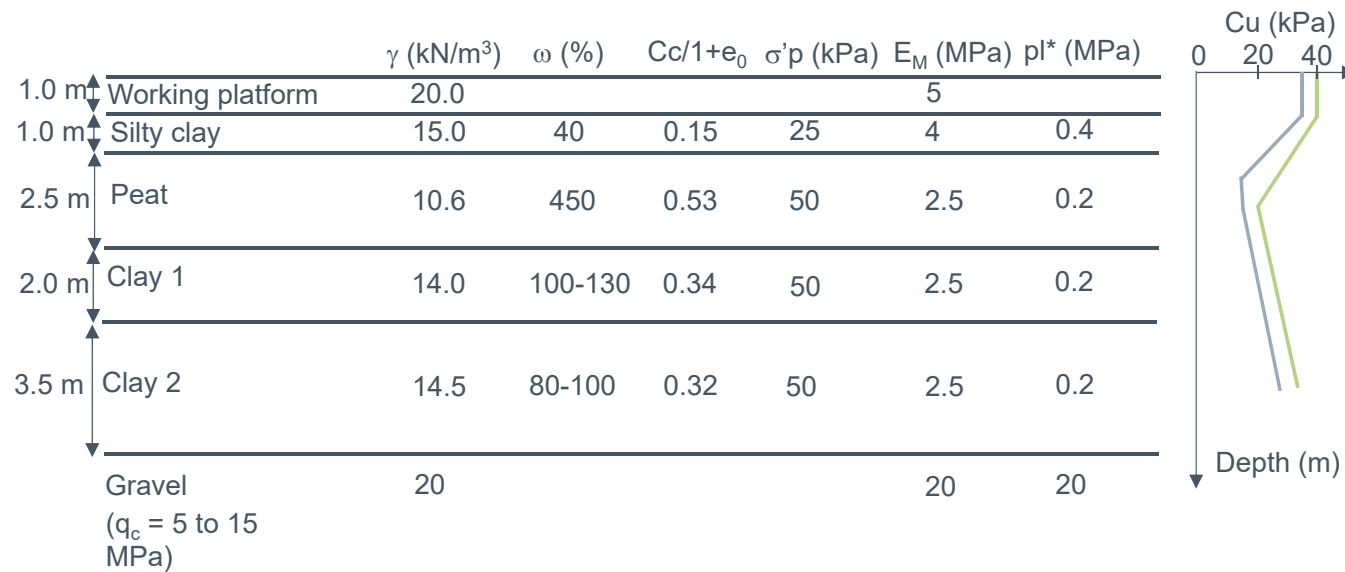


26 AVRIL 2018

FNTF

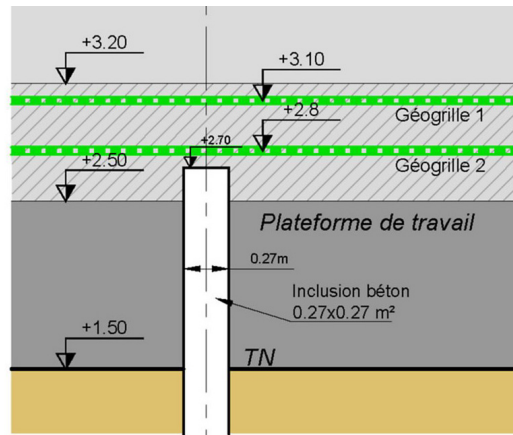
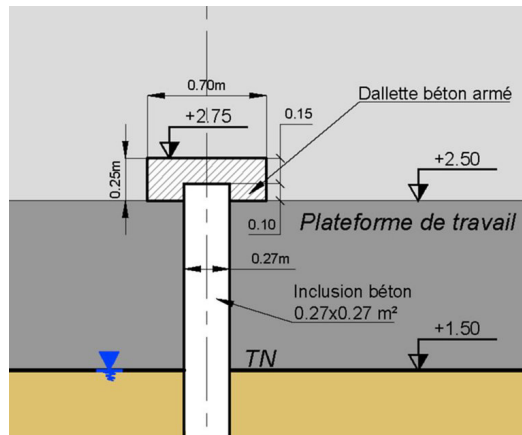
Quelques exemples

LGV SEA : traversée des marais de la Virvée 2012 - 2017



Quelques exemples

LGV SEA : traversée des marais de la Virvée

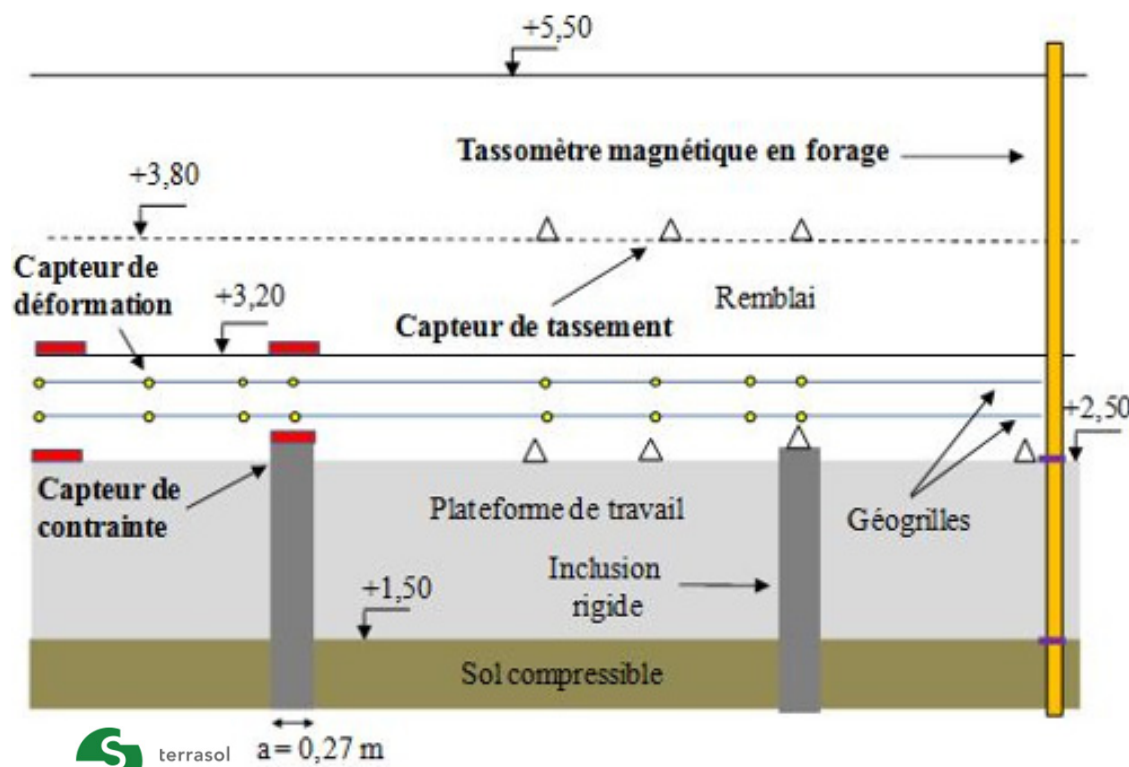


26 AVRIL 2018

FNT

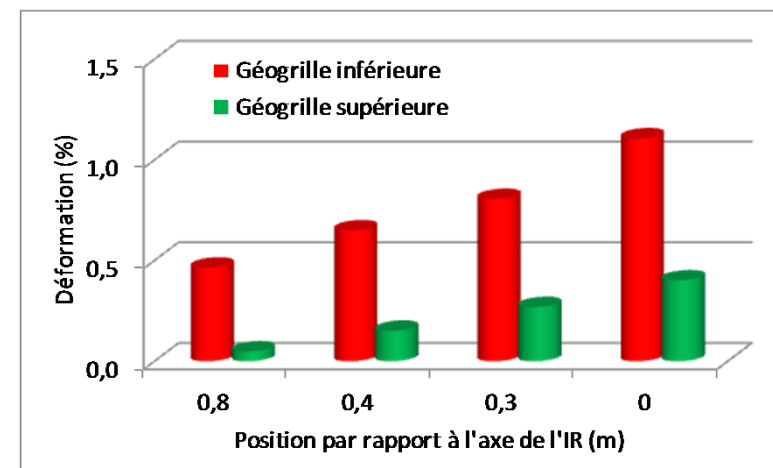
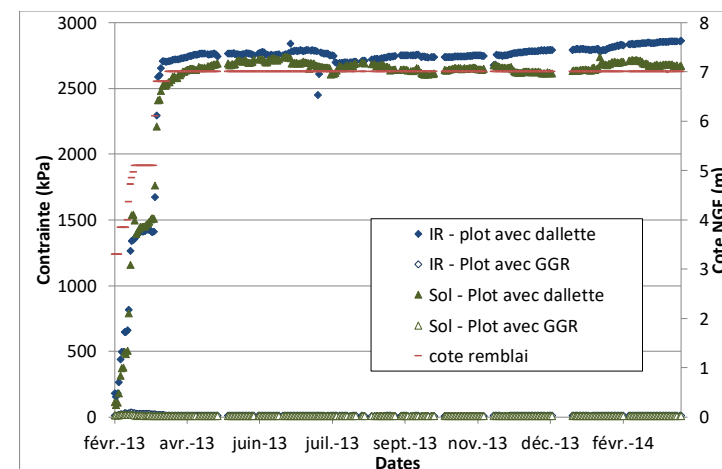
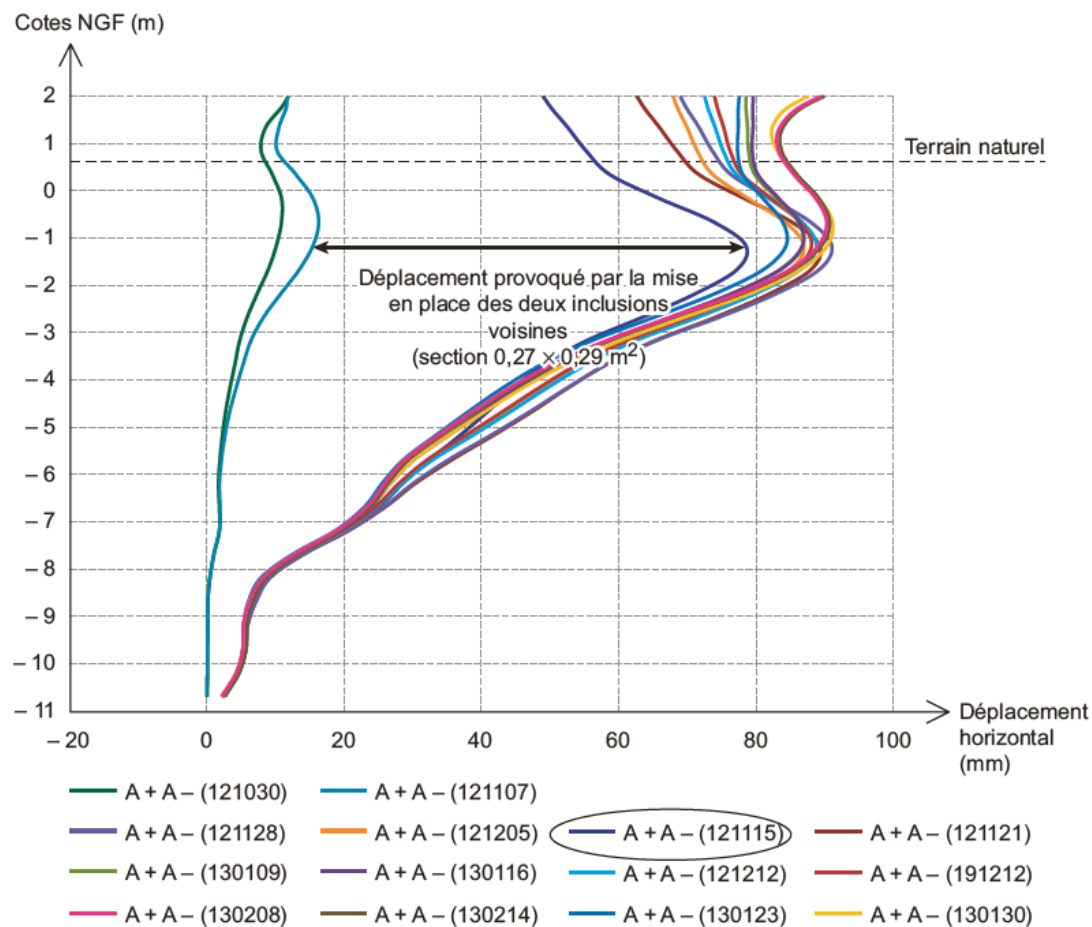
Quelques exemples

LGV SEA : traversée des marais de la Virvée



Quelques exemples

LGV SEA : traversée des marais de la Virvée



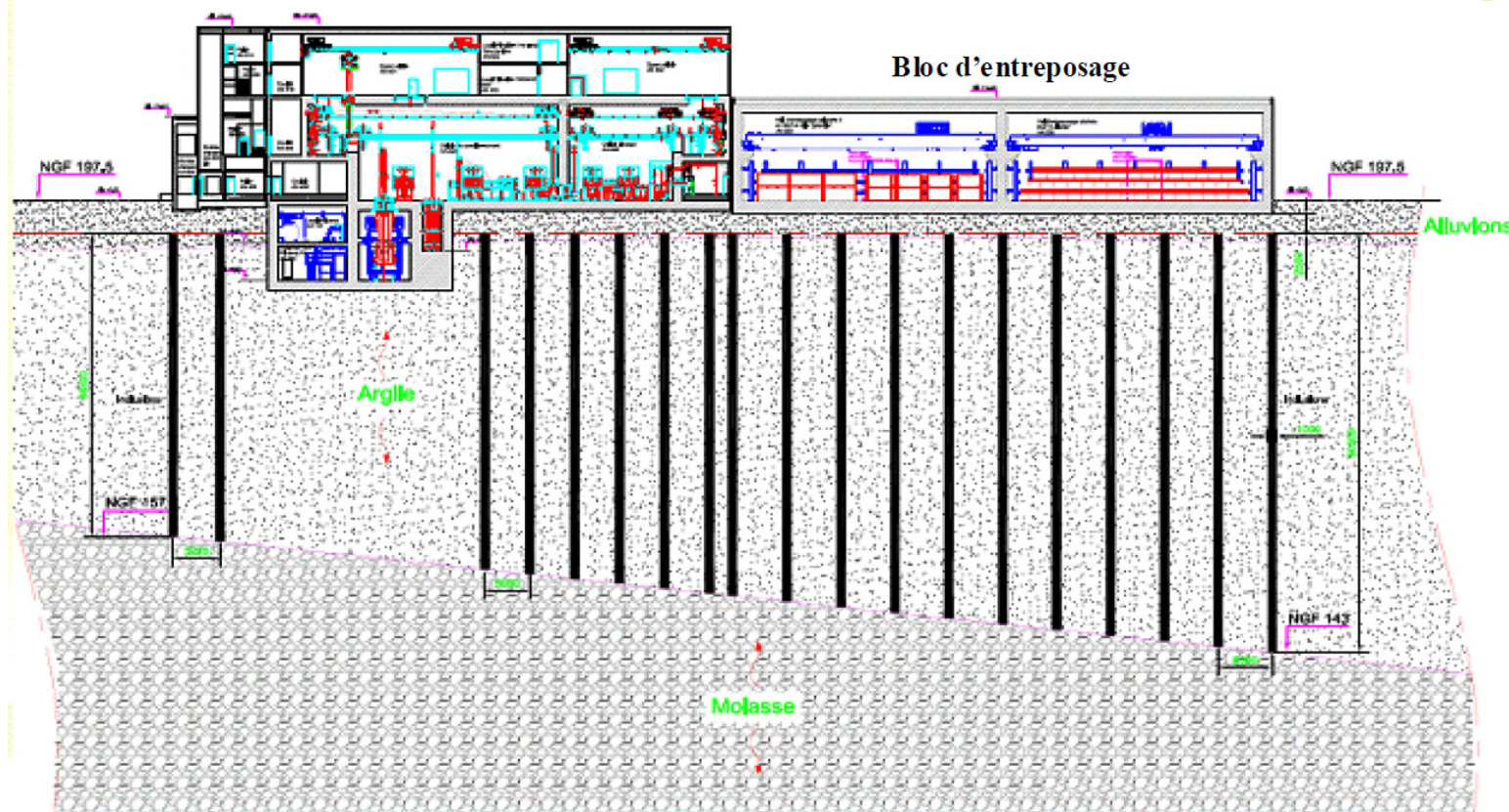
Quelques exemples

ICEDA
2010 →

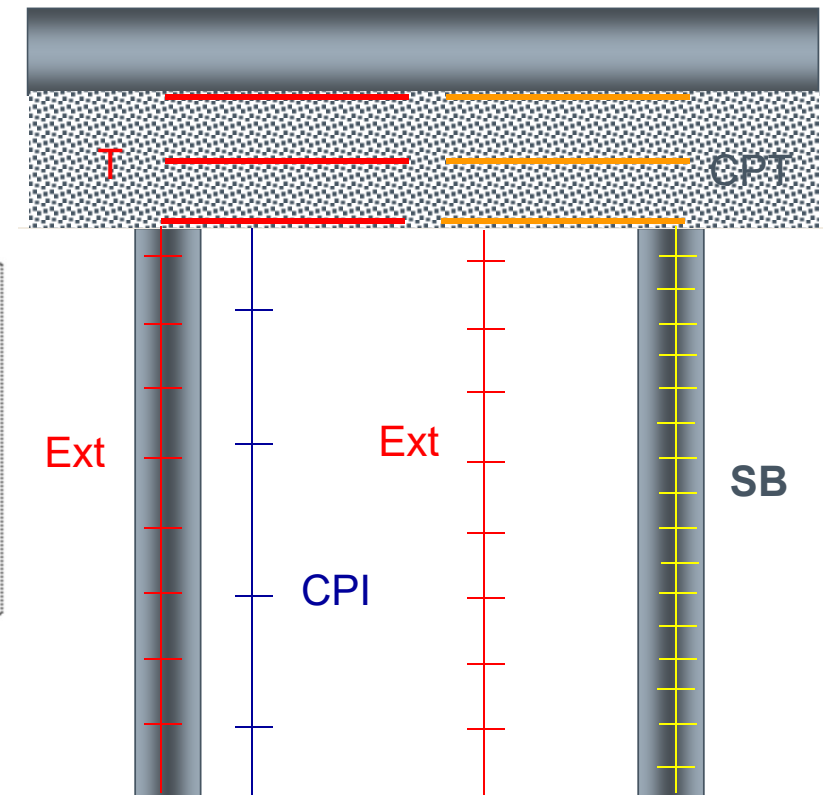
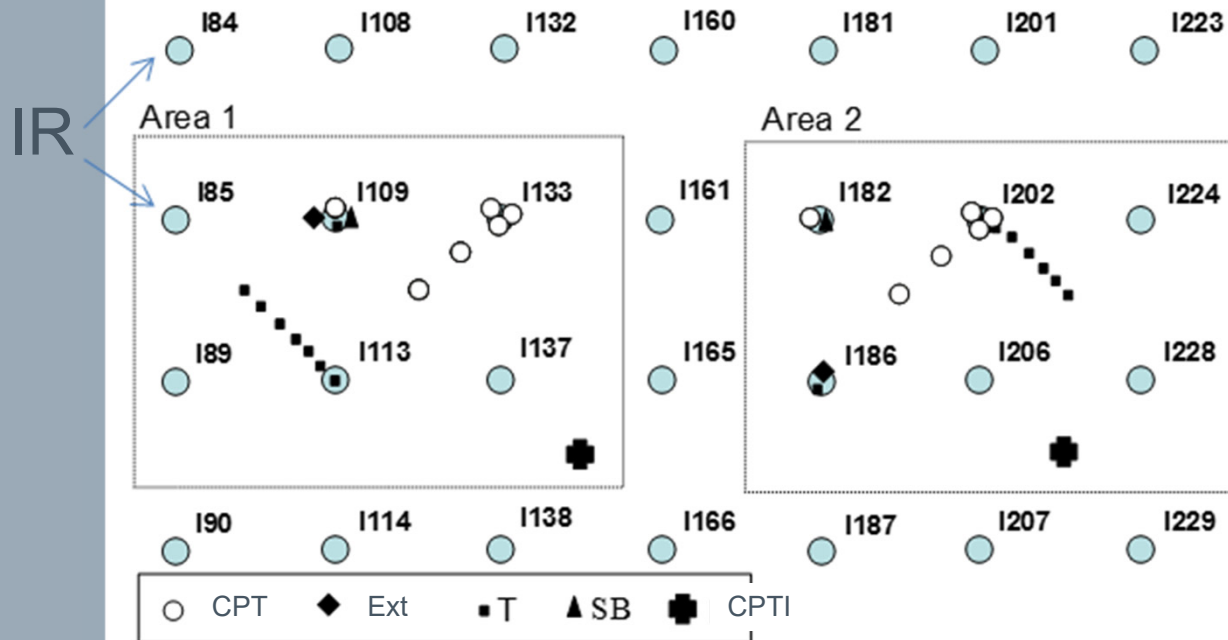
le cnam

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
LYON

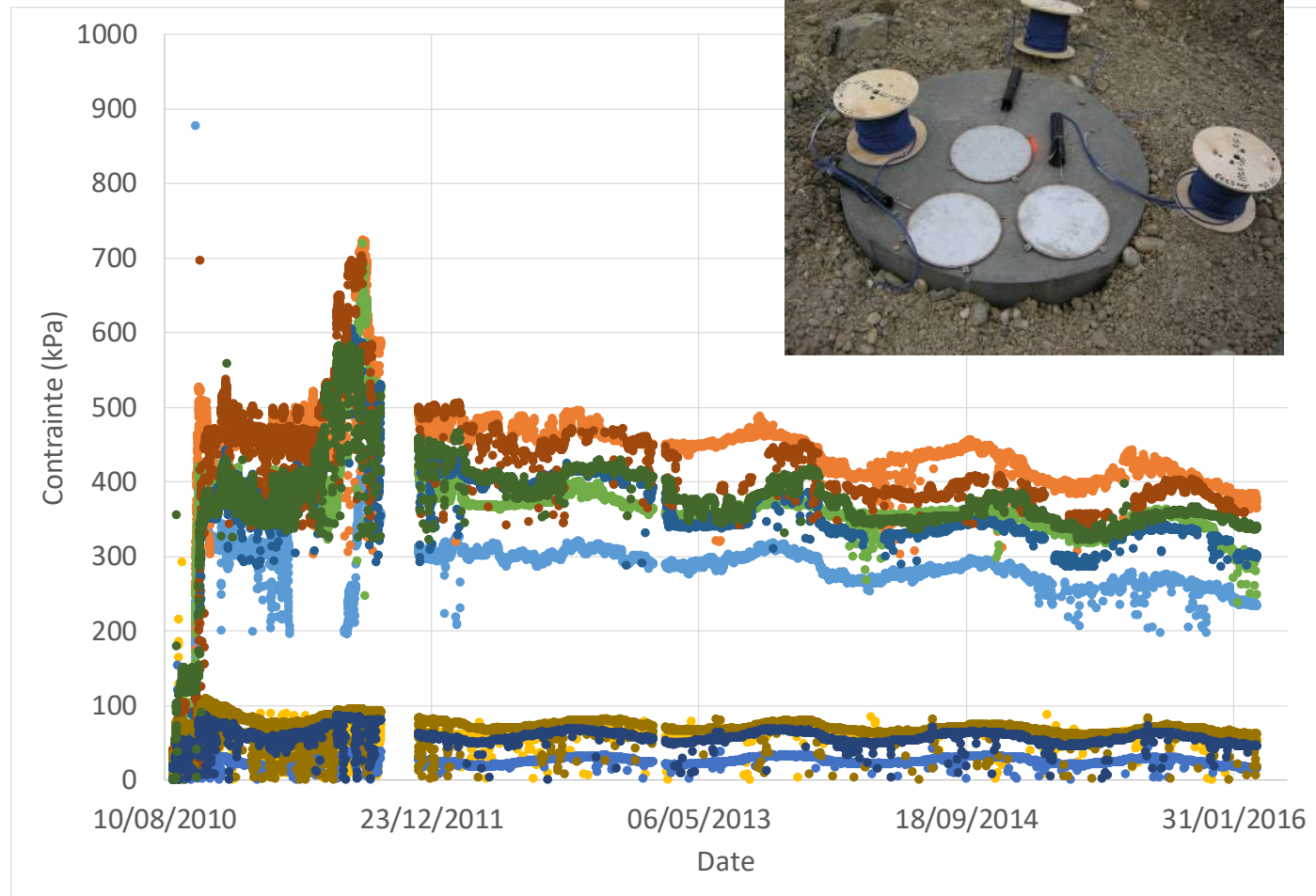
e egis



Quelques exemples ICEDA



Quelques exemples ICEDA

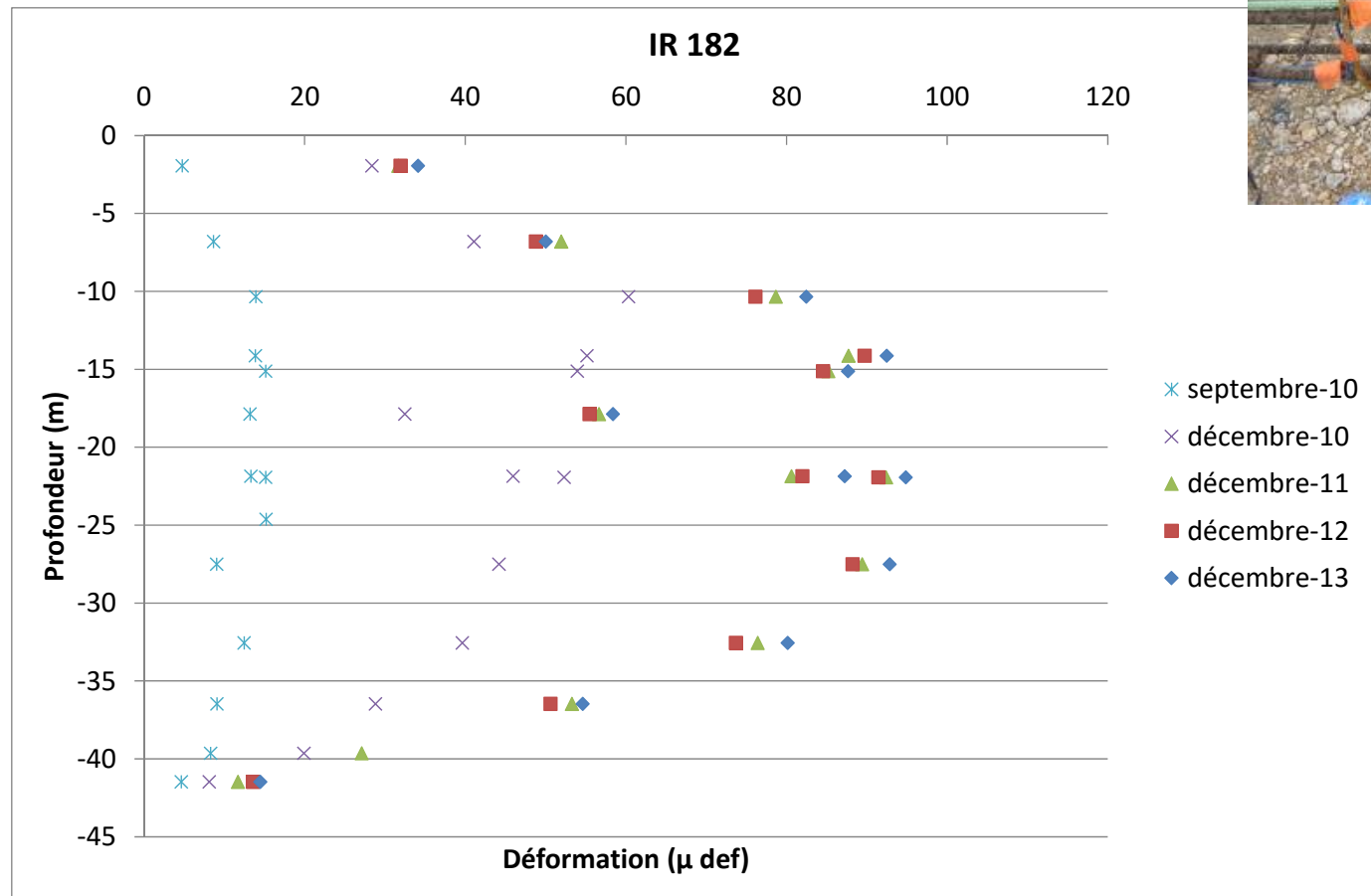


26 AVRIL 2018

FNTP - CFMS

30

Quelques exemples ICEDA

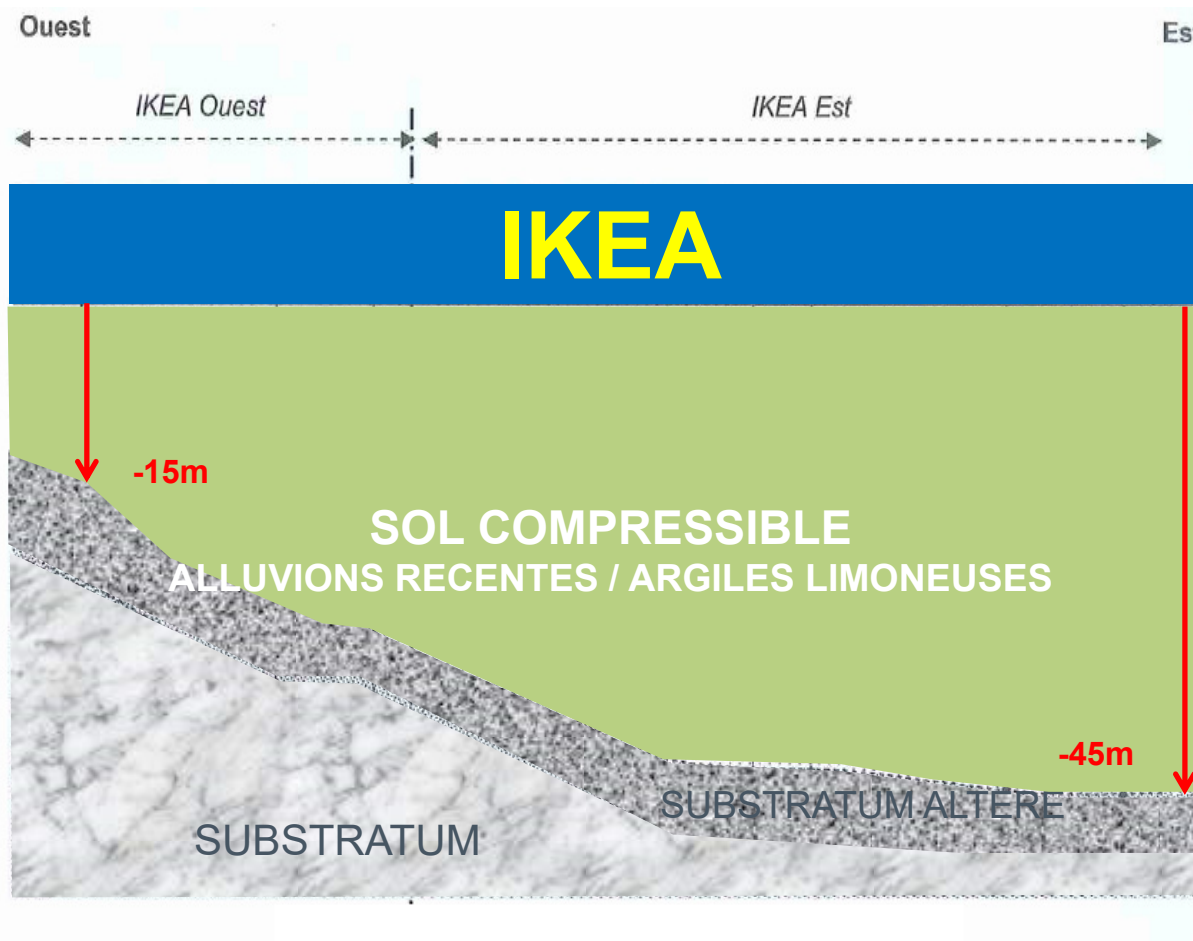


26 AVRIL 2018

FNTP - CFMS

Quelques exemples

IKEA (2013 – 2015)



Remblai de
préchargement
+
Méthode
observationnelle

Quelques exemples IKEA

13 Profils instrumentés

44 Plots topographiques

38 boules tassométriques

7 inclinomètres

6 tassomètres magnétiques

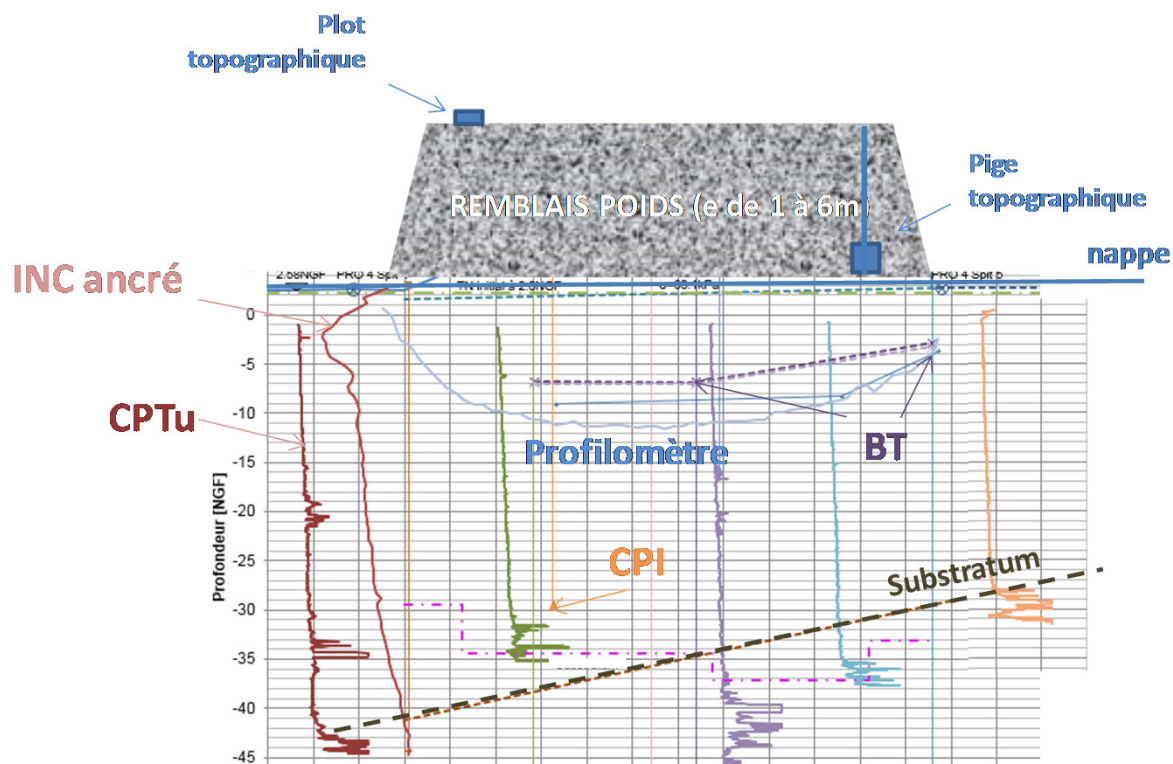
13 profilomètres

6 pignes topographiques

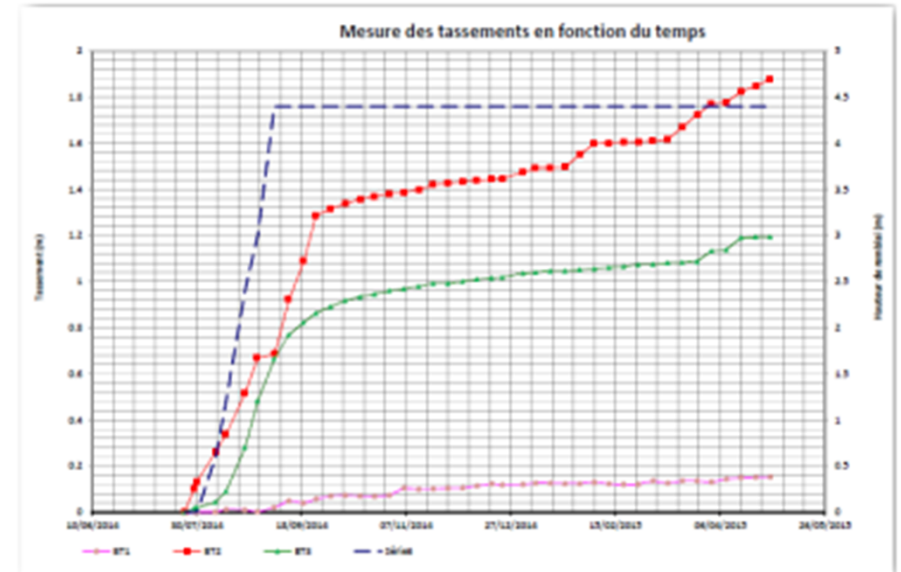
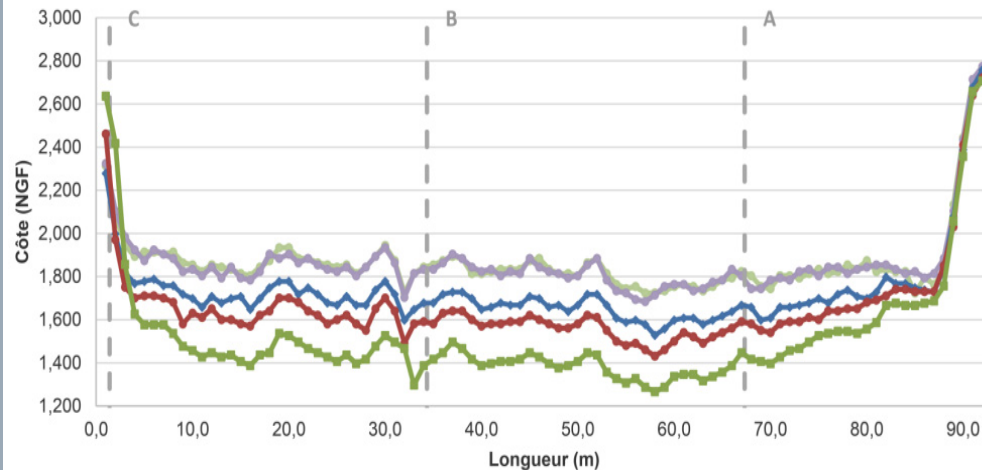
21 CPI

14 mesures de dissipation

20 mesures CPTu



Quelques exemples IKEA



Instrumentation + Analyse ➡ Consolidation / Fluage

Actions correctives lors du préchargement

Conclusions

La méthode observationnelle est bien adaptée aux techniques d'amélioration et renforcement des sols.

L'instrumentation d'ouvrages réels est un moyen incontournable pour développer de nouvelles techniques.

La réussite d'une instrumentation requiert son acceptation par tous les acteurs de la construction de l'ouvrage.

L'instrumentation est réservée à des spécialistes ayant des compétences métrologiques et géotechniques.