



COMPORTEMENT D'UNE FONDATION SUPERFICIELLE SUR SOL RENFORCE PAR COLONNES MIXTES : ETUDE EXPERIMENTALE

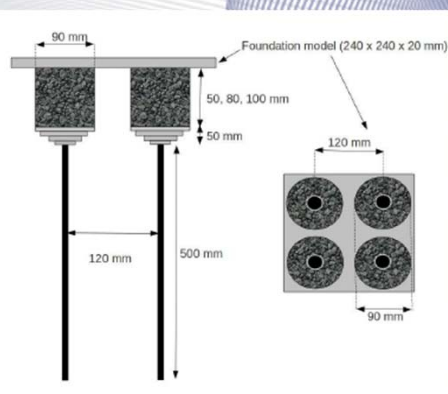
Présentée par: Serge LAMBERT

Thèse d'Hana SANTRUCKOVA dirigée par: **Pierre FORAY**

Co encadrée par Stéphane GRANGE, Philippe GOTTELAND et Etienne Flavigny

Contrat: BDI – Keller France, CNRS

www.3sr.hmg.inpg.fr



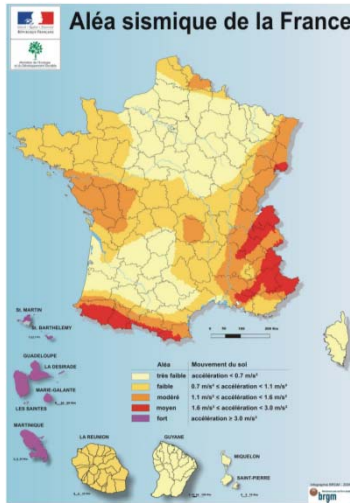
Plan de la présentation

1. INTRODUCTION
2. MODÉLISATION PHYSIQUE EN ÉCHELLE RÉDUITE
3. MODÉLISATION NUMÉRIQUE ET ANALYTIQUE
4. CONCLUSIONS

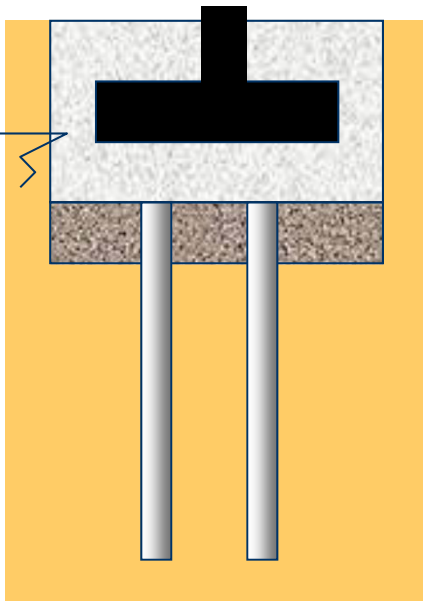
1. Introduction

SEMELLES SUR SOL RENFORCE PAR IR EN ZONE SISMIQUE

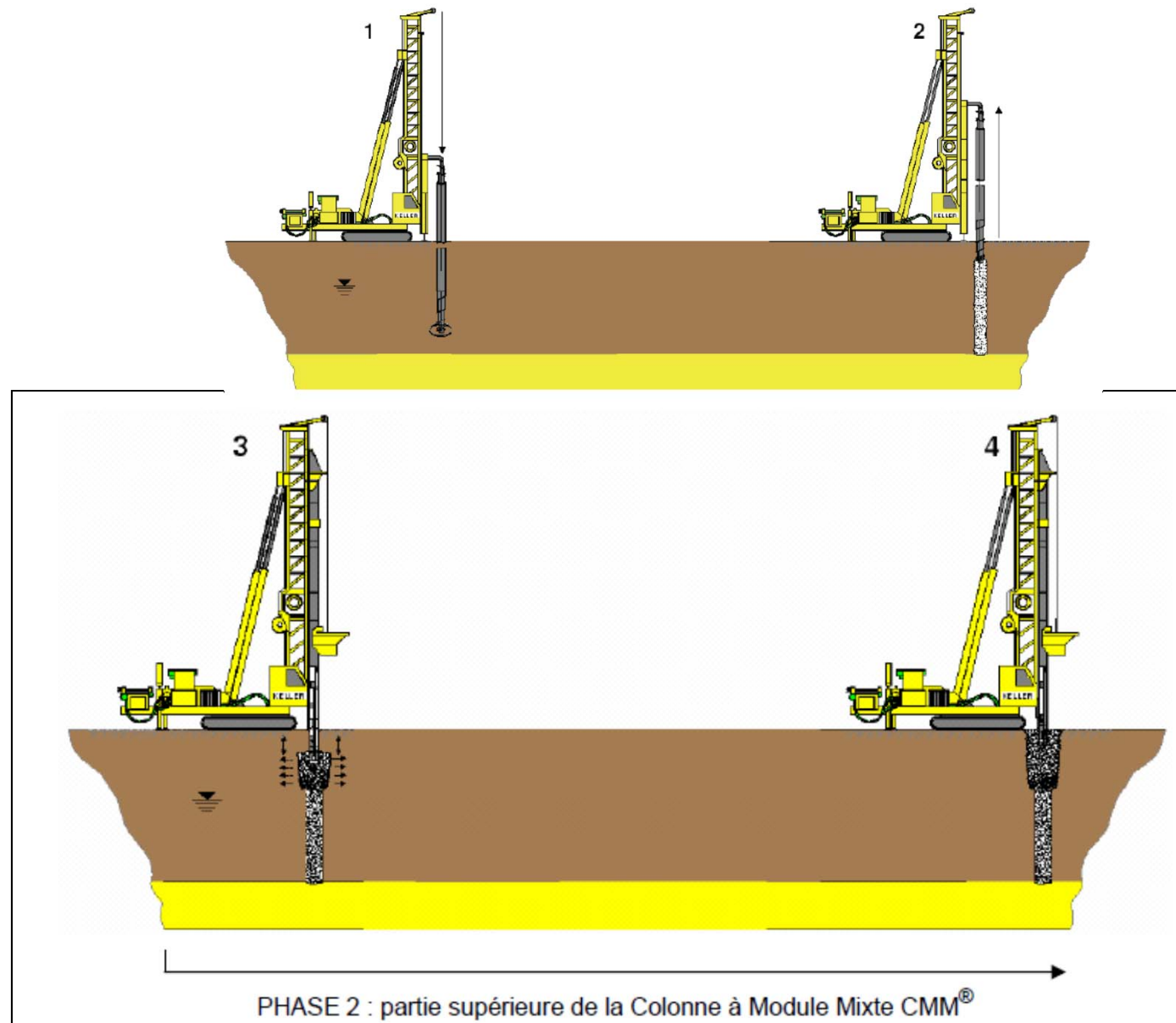
PROBLEMATIQUE ?



- **Nouvelle carte sismique:** zone à risque plus étendue
- **Ouvrage sur Semelle superficielle:** Meilleur comportement sous sollicitations sismiques
- **Renforcement de sol par IR :** Matelas granulaire (non traité) obligatoire et compacté à 95 % de l'OPM d'après les recommandations de l'AFPS
- **Dans les sols mous et humides :** difficultés pour la mise en œuvre et pour le compactage du matelas

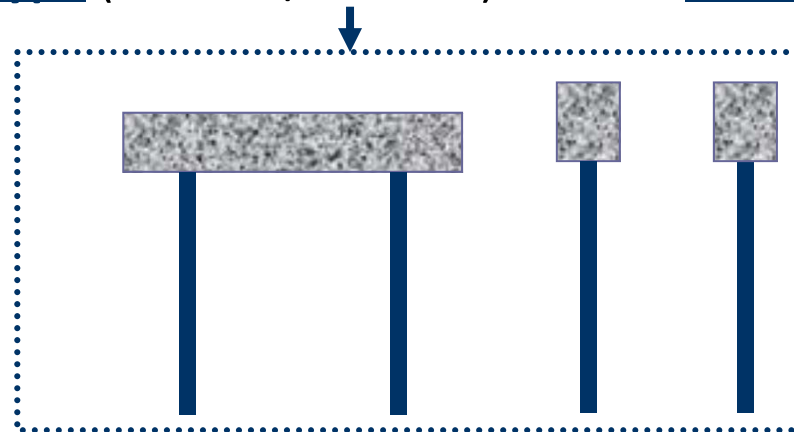


La COLONNE MIXTE ou la Colonne à Module Mixte (CMM®)

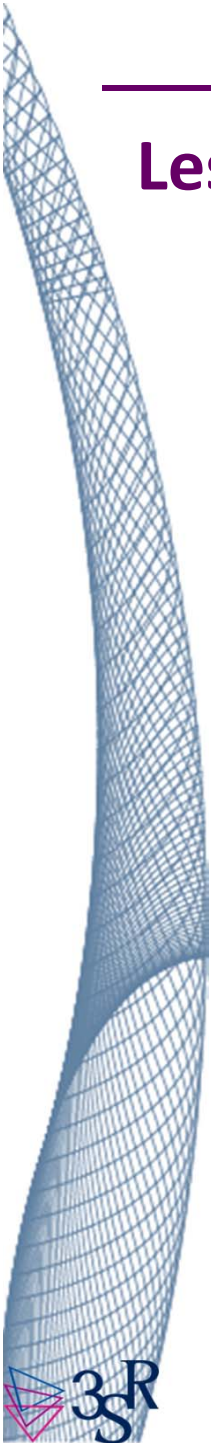


Les objectifs de l'étude

- Analyser le comportement du sol renforcé par IR sous un chargement statique, mais surtout **dynamique** (très peu de travaux).
- Evaluer le rôle du matelas :
 - **du type** (matelas/colonne) et **de la hauteur** de la partie supérieure

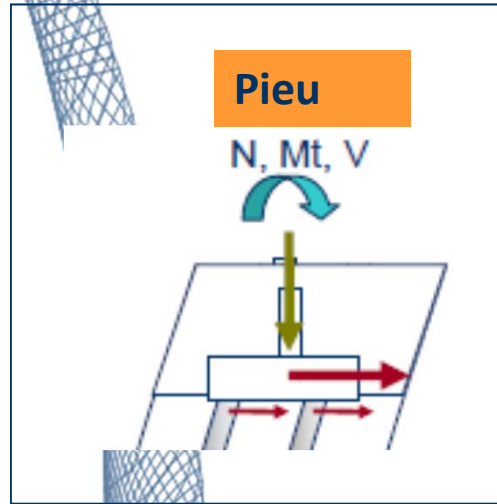


sur le transfert de charges horizontales à la partie inférieure et sur la dissipation d'énergie dans le système.

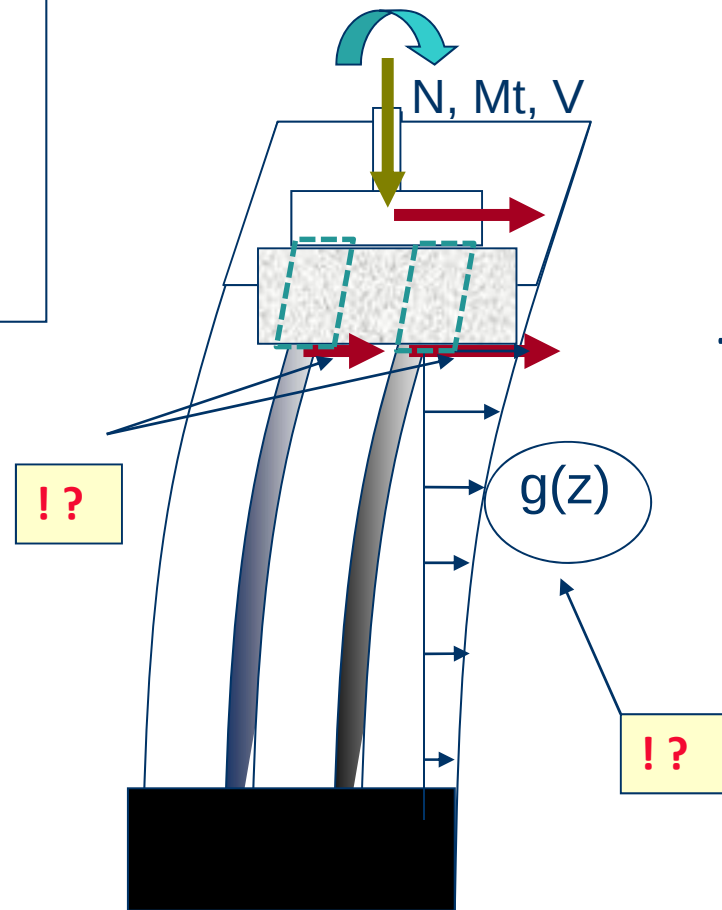


Introduction

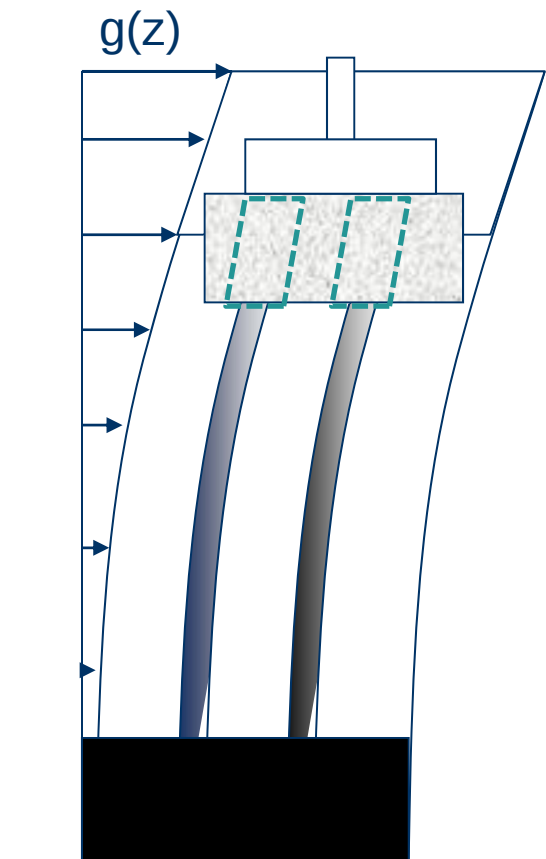
Comportement du sol renforcé par Ir sous sollicitations sismiques



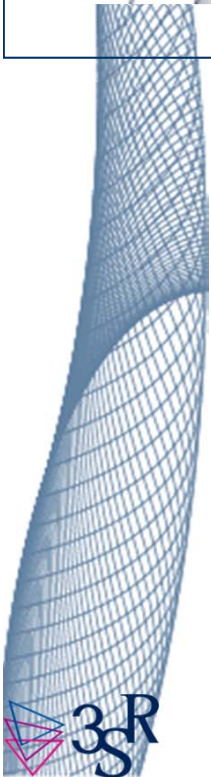
Inclusions rigides



Effet inertiel seul

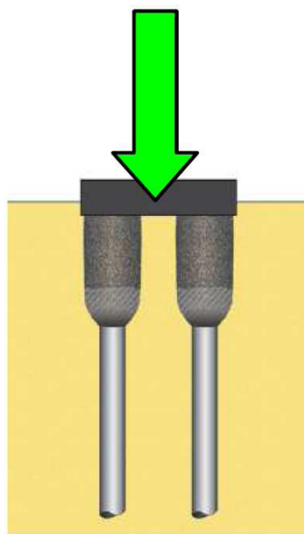


Effet cinématique seul

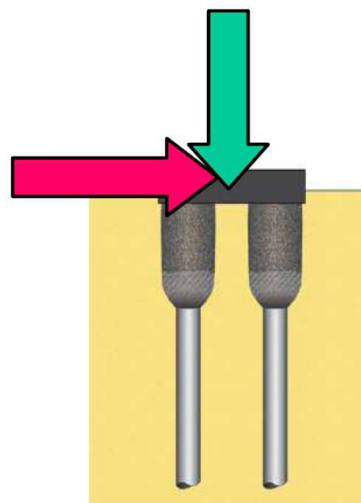


Déroulement des simulations

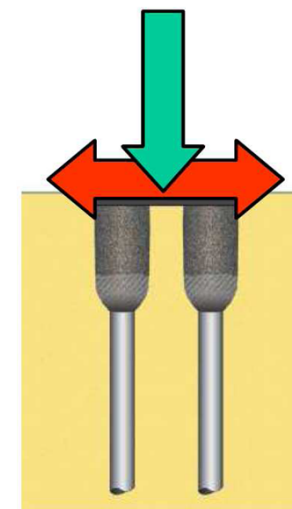
Modélisation en trois étapes



Chargement vertical
pour déterminer la
capacité portante de la
fondation



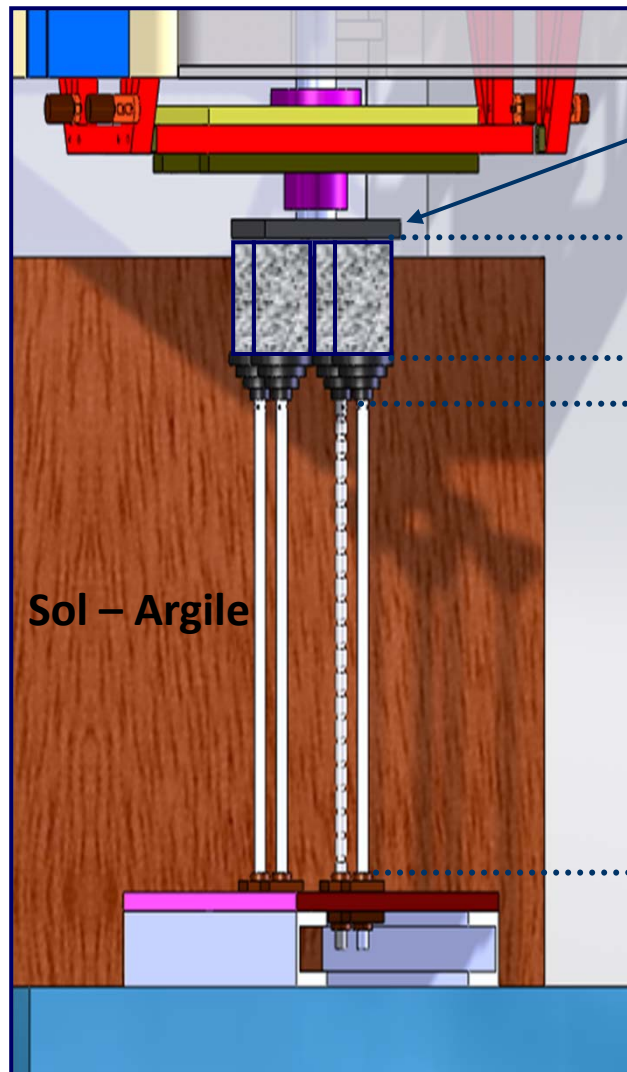
**Chargement horizontal avec la
charge verticale** nominale pour
déterminer le chargement
horizontal maximal



Chargement horizontal
dynamique cyclique avec
la même charge verticale
nominale

2. Modélisation physique en échelle réduite

Modèles physiques (2)



Semelle:

24cm x 24cm x 2cm

Partie souple:

LTC ou LTP de gravier; 5-10 cm

Zone de transition:

Entonnoirs remplis de gravier;
5 cm

Partie rigide:

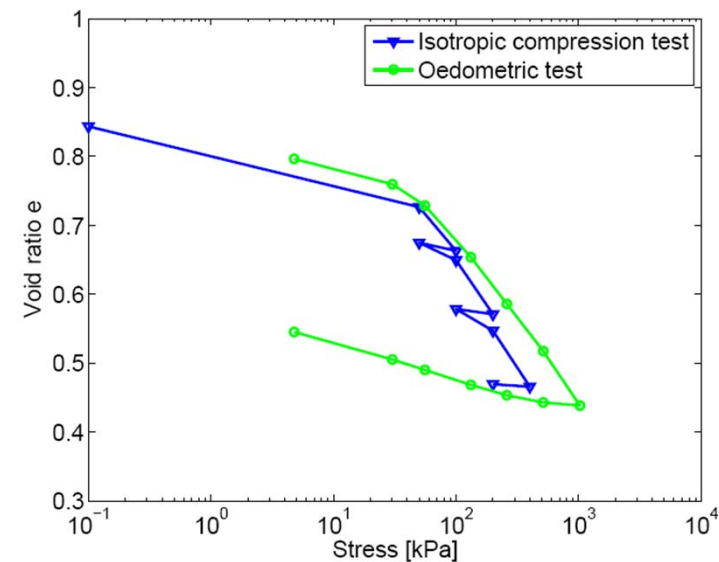
tube alu AU4G;
 $\Phi_{int} = 8mm$;
 $\Phi_{ext} = 16mm$;
50 cm long



Caractérisation du sol par des essais en laboratoire

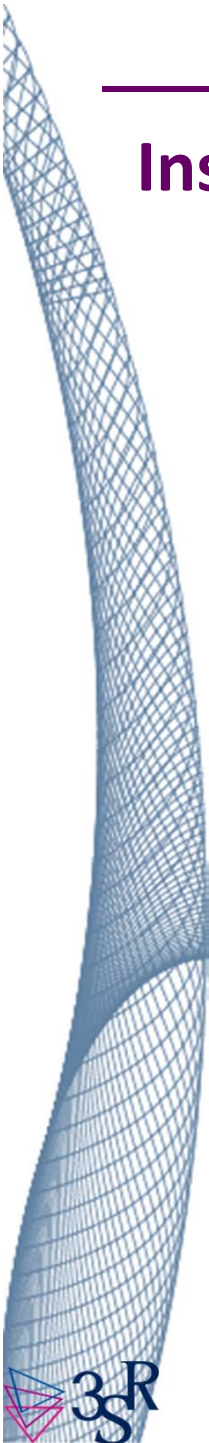
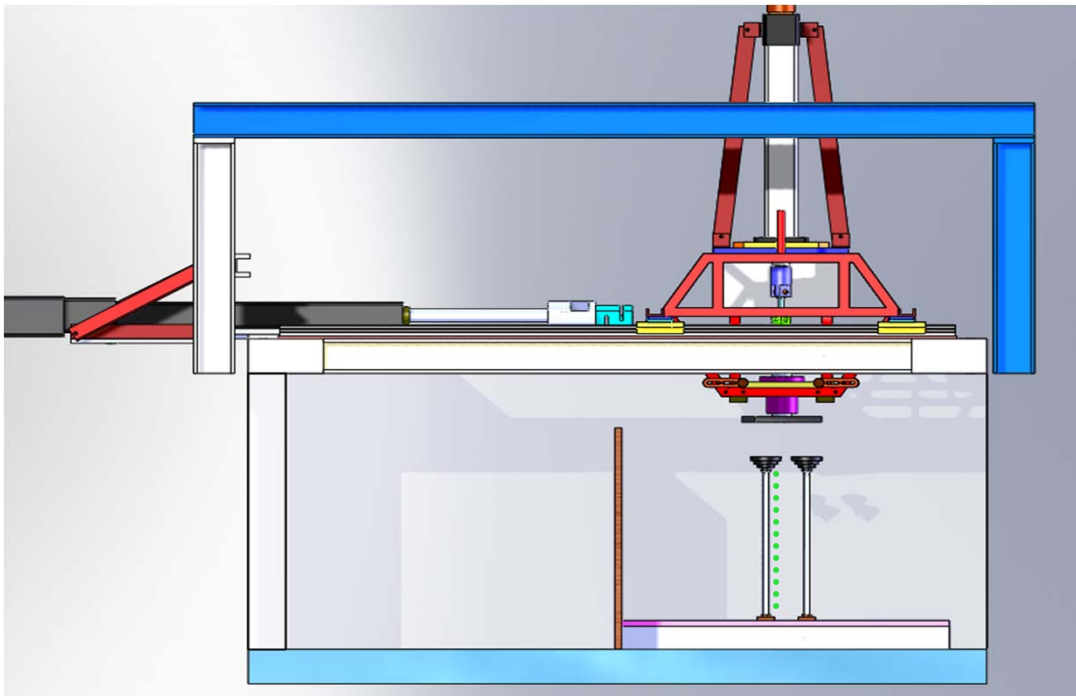
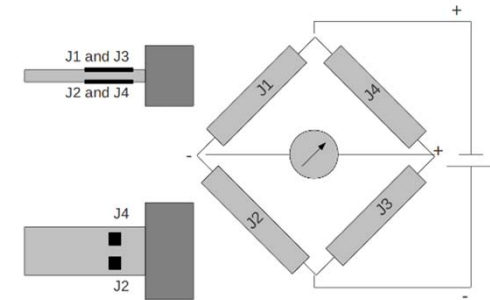


	Clay	Gravel
Peak friction angle	-	56°
Residual friction angle	-	37°
Cohesion	18 kPa	-
Water content	0.3	-
Cc	0.27	-
Cs	0.06	-
λ	0.12	-
κ	0.03	-
pc	50 kPa	-
G at 0 confining pressure	12 MPa	-
G at 50 kPa confining pressure	21 MPa	-
G at 100 kPa confining pressure	42 MPa	-
Young's modulus	0.5 MPa	-

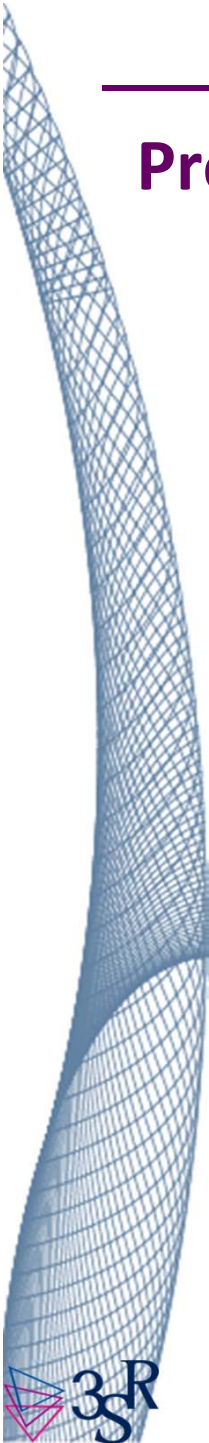


Instrumentation – capteurs utilisés

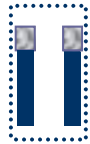
- **Force et déplacement** au niveau de la **fondation**
- Lvd, capteur de force H, V
- **Déformation du pieu** - jauges de déformation
(20 niveaux; déformation en flexion)
- (Accéléromètres; Capteurs de force)



Procédure de mise en place de l'argile:



Procédure de mise en place de la partie flexible (LTC,LTP)



LTC:

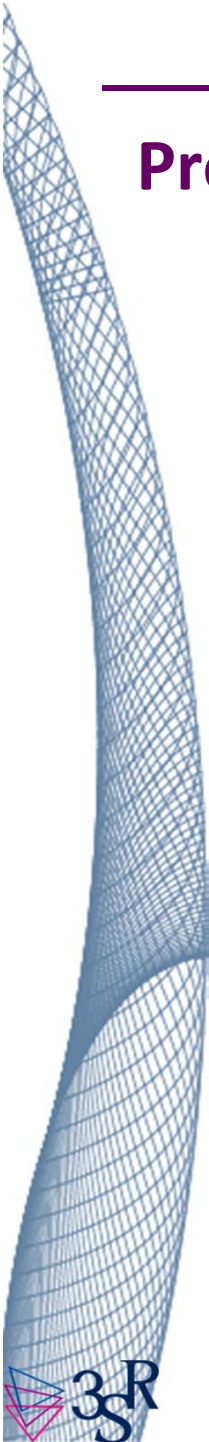
Gabarit en PVC

Carottier avec diamètre 75 mm

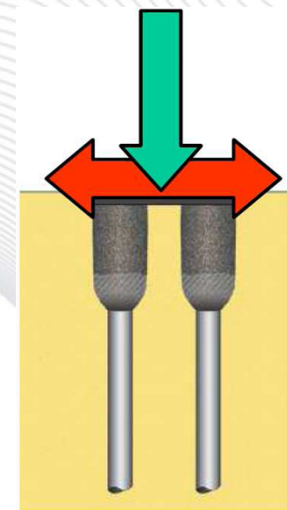
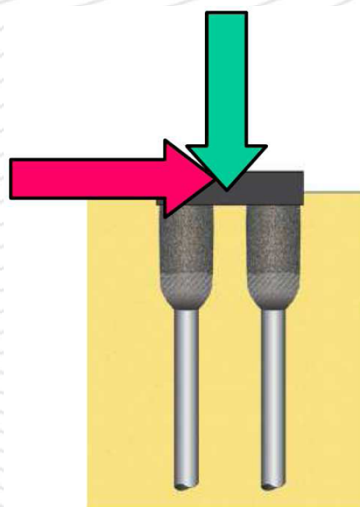
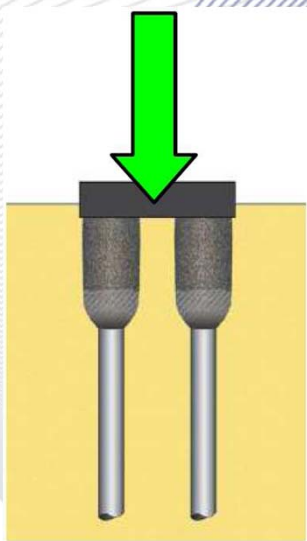
Compactage en retirant le carottier

Diamètre final de 90mm

Masse volumique finale 1.7-2 g/cm³

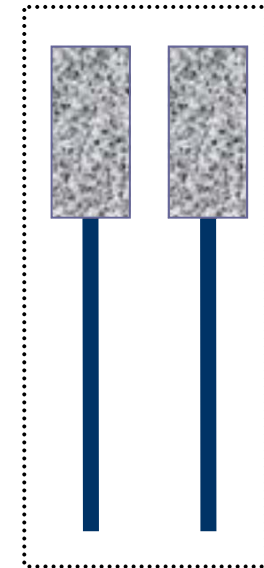
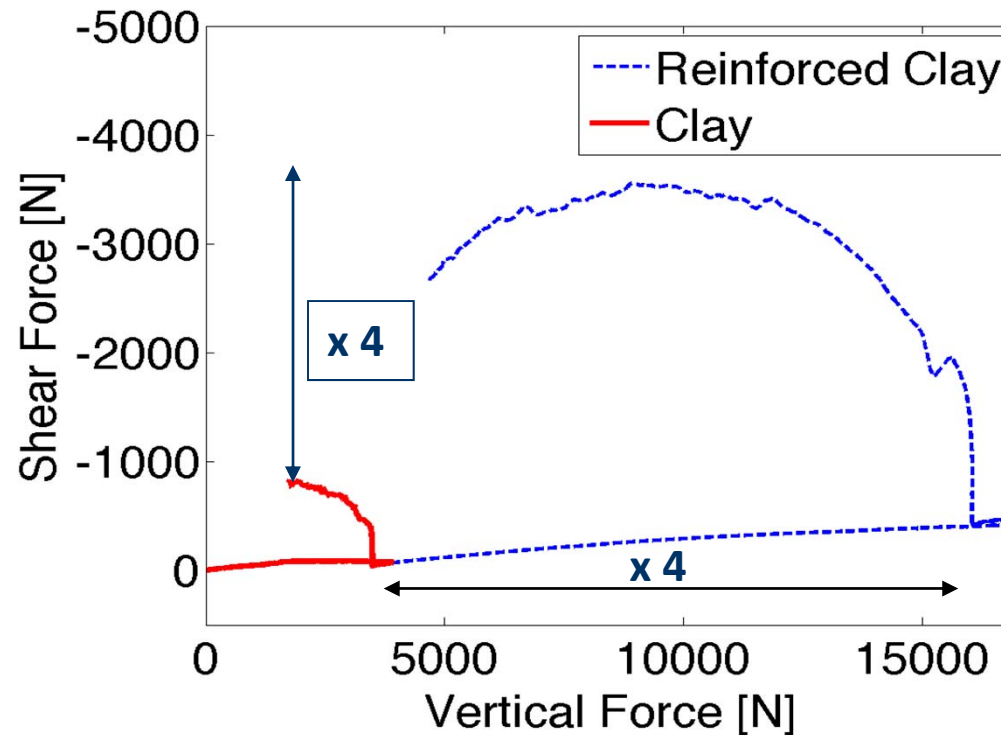


Modélisation physique en échelle réduite: Résultats expérimentaux



Chargement vertical et horizontal statique (Swipe Test)

L'essai de type « **Swipe test** » permet de **déterminer la surface de rupture** dans le plan **V-H**

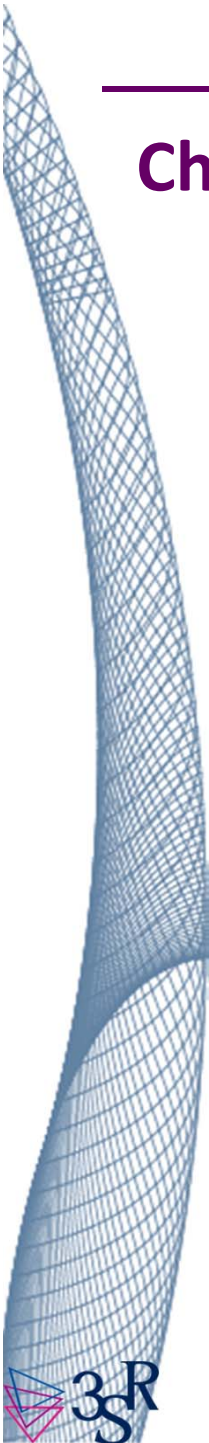
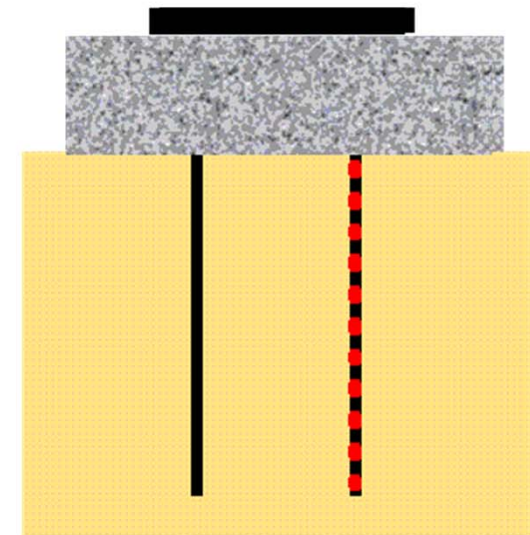
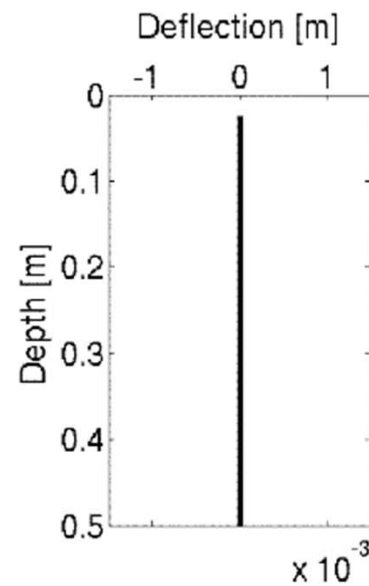
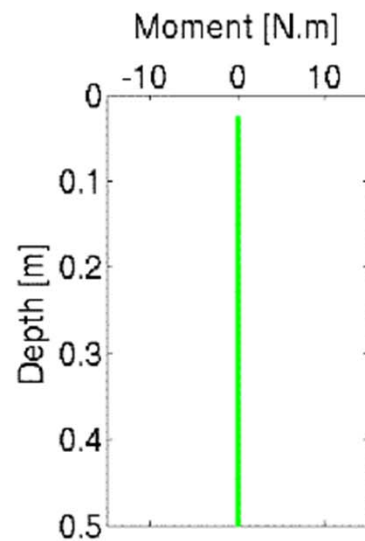
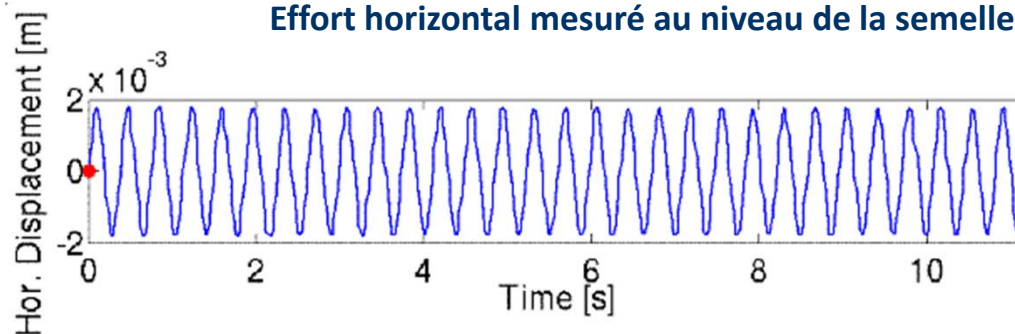


Le renforcement par Colonnes Mixtes sous semelle a augmenté la portance dans un rapport de 4 !

Chargement vertical statique et horizontal dynamique

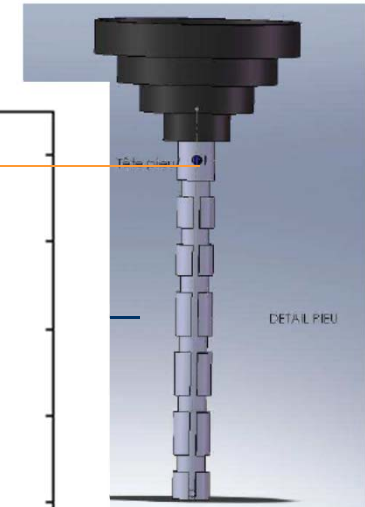
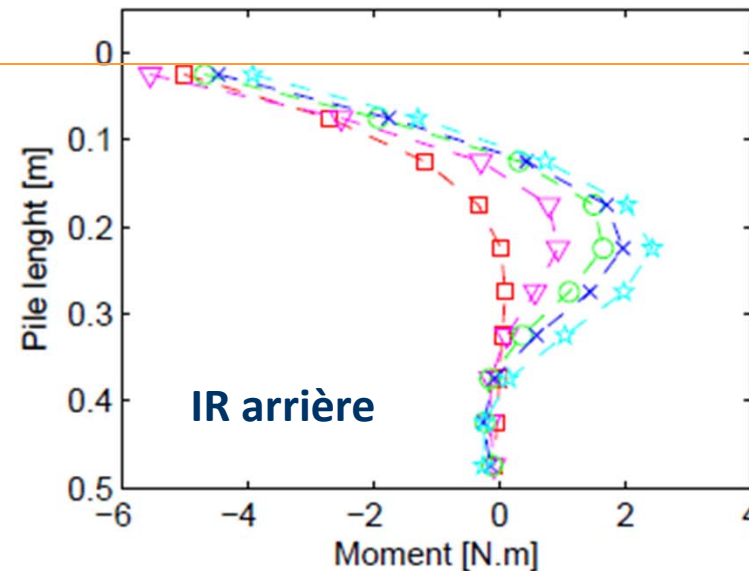
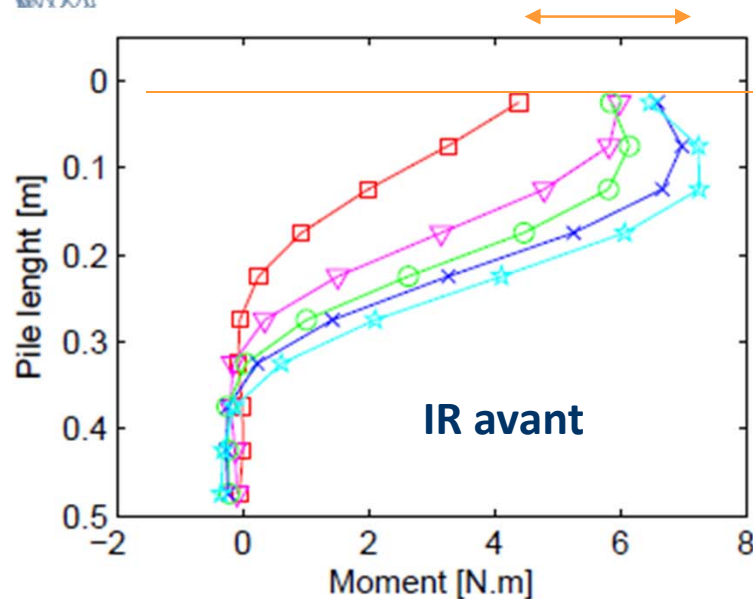
Déplacement contrôlé : 2 mm

Effort horizontal mesuré au niveau de la semelle: 250 N

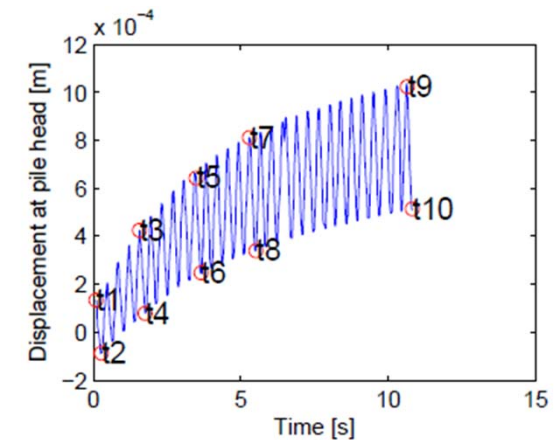


Chargement vertical statique et horizontal dynamique

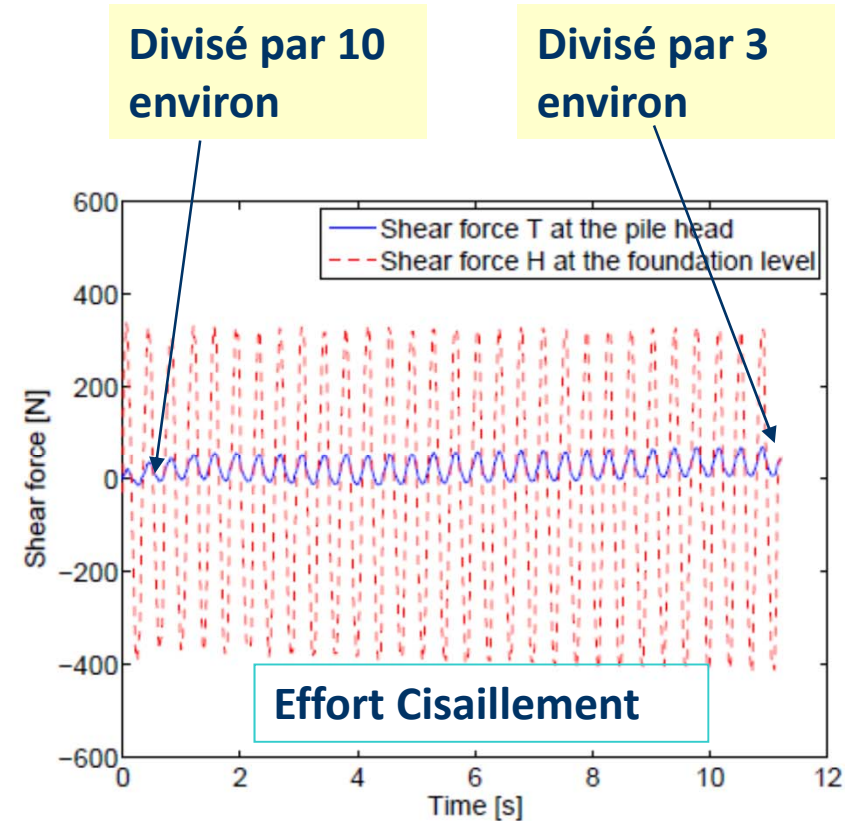
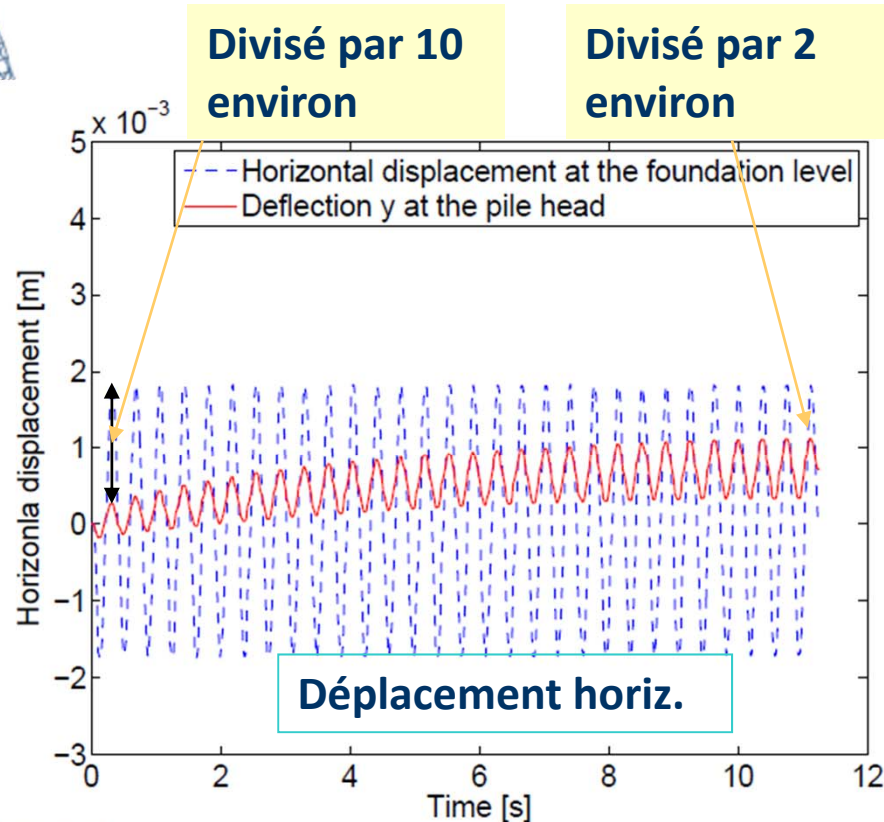
Moment X 1,5 à 2



Evolution des moments de flexion



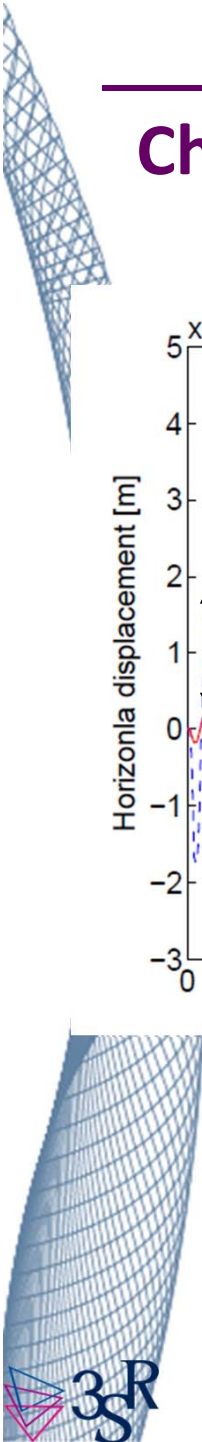
Chargement vertical statique et horizontal dynamique



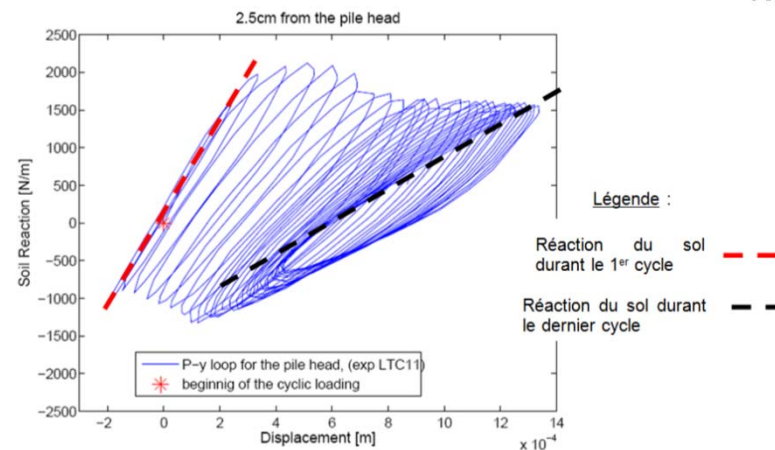
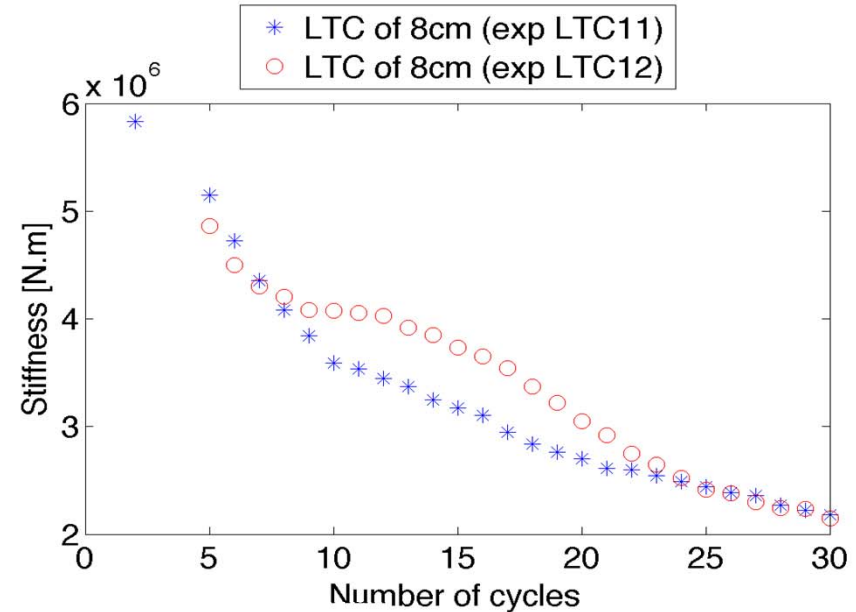
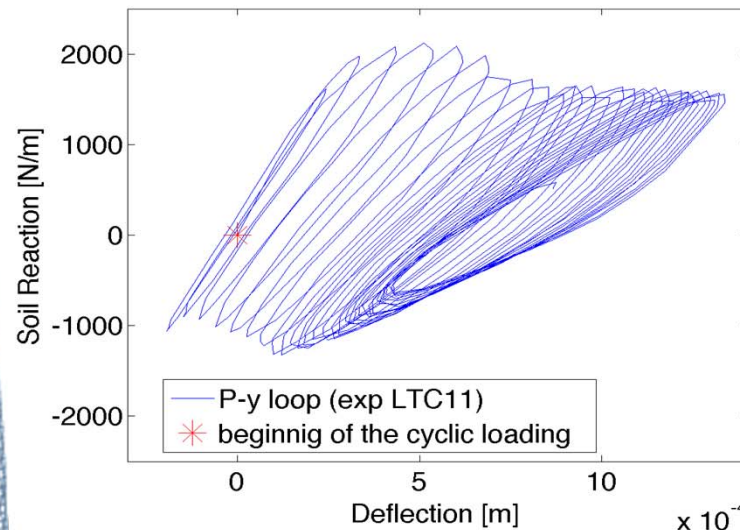
À la base de la zone de transition T = 5 à 20 kN pour une charge maxi de 62.5 kN

Déplacements horizontaux
semelle/tête IR

Efforts tranchants
semelle/tête IR

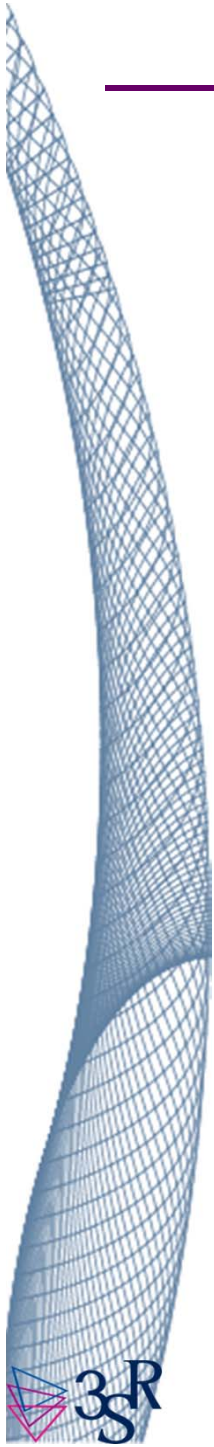


Chargement vertical statique et horizontal dynamique Courbes P-y et raideur latérale



Rapport de 3 !

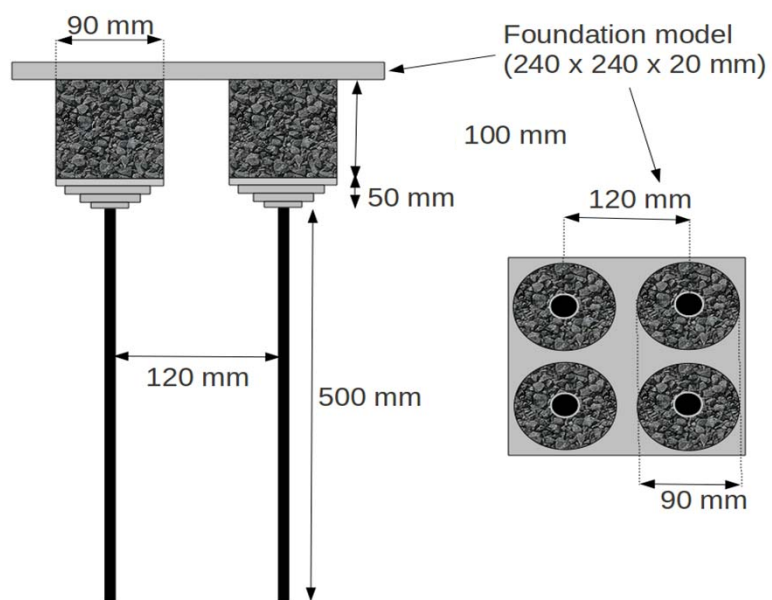
► Dégradation du module des argiles molles



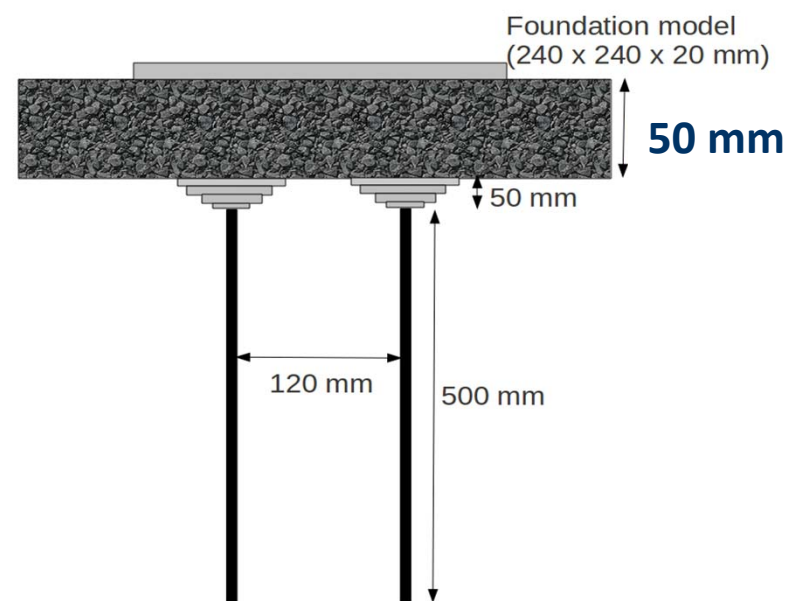
Comparaison (IR + Matelas 50 cm) et Colonnes Mixtes

Modèles physiques (1)

LTC + partie rigide



LTP + partie rigide



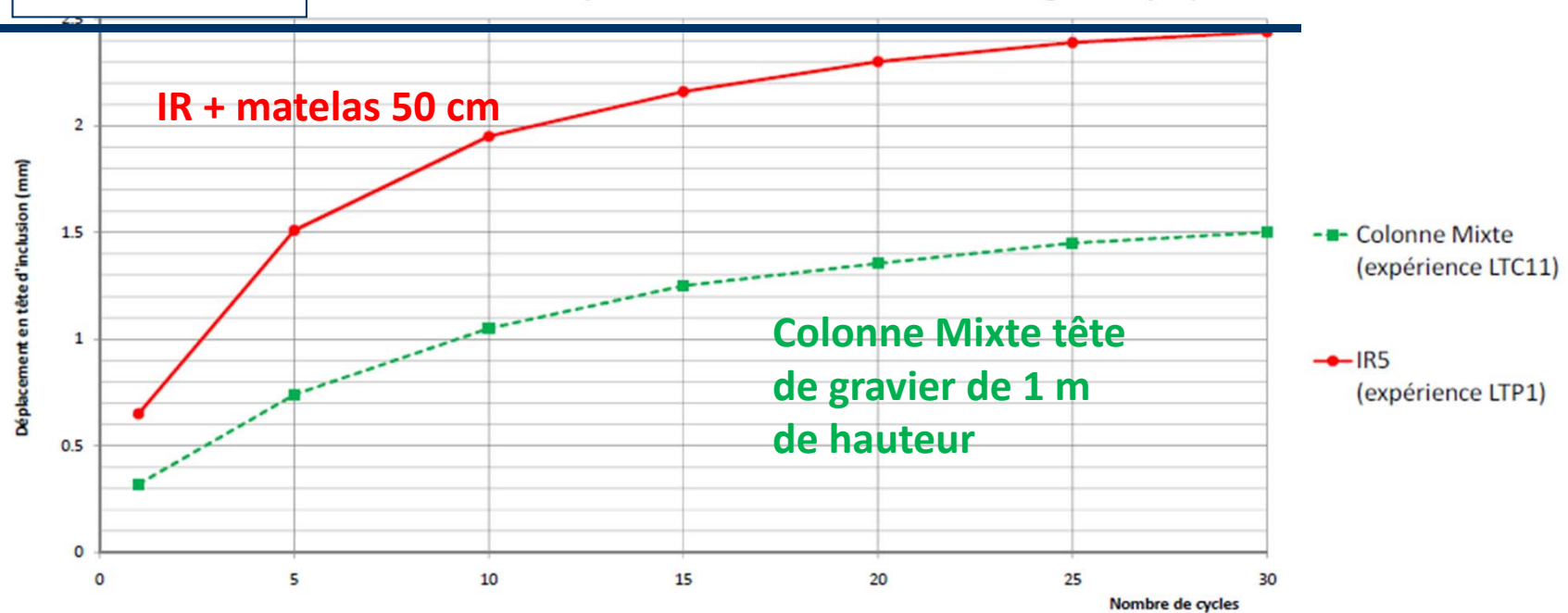
Augmentation des déplacements horizontaux de la tête d'IR les 10 premiers cycles

Tendance à la stabilisation après 15 cycles

Avec de faible épaisseur de matelas, la tête d'IR se déplace de la même valeur que la semelle,

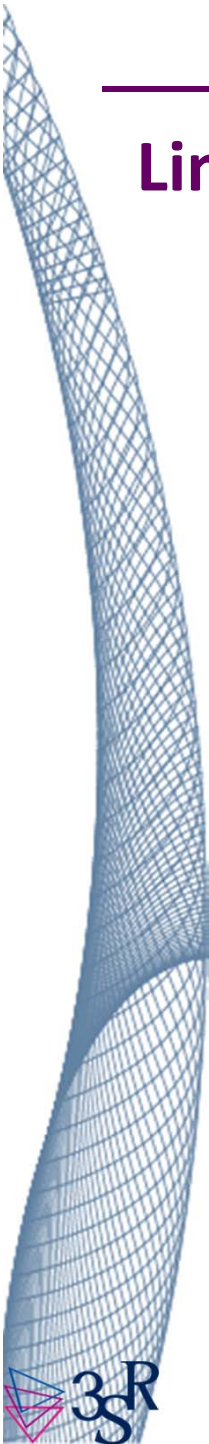
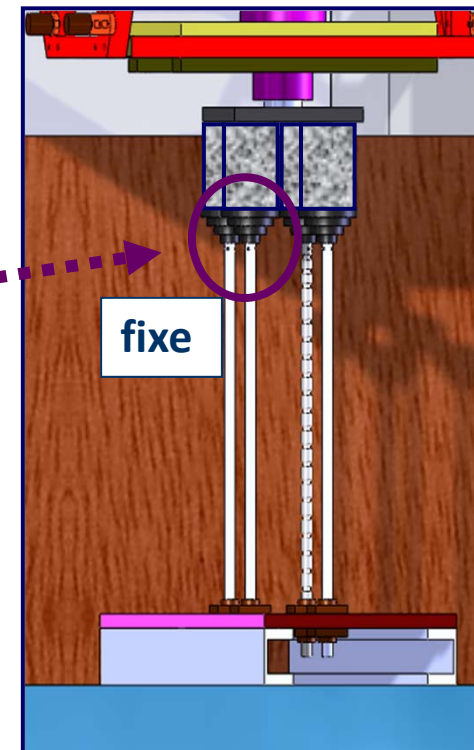
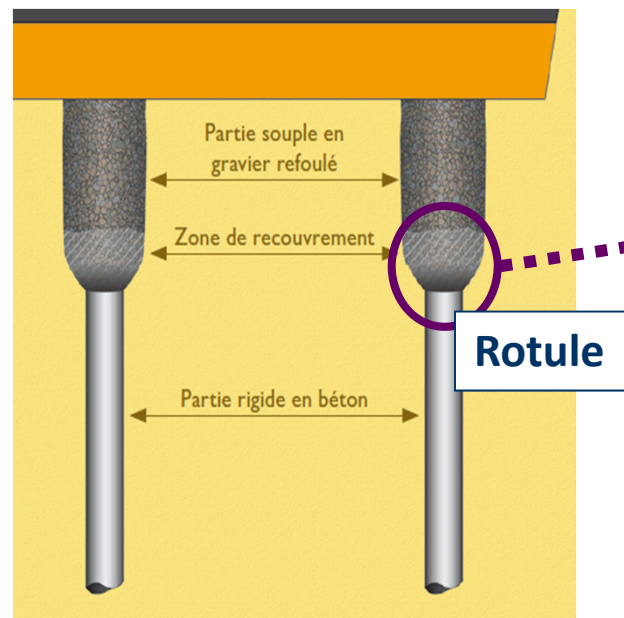
Semelle

Evolution du déplacement en tête d'inclusion avec le chargement cyclique



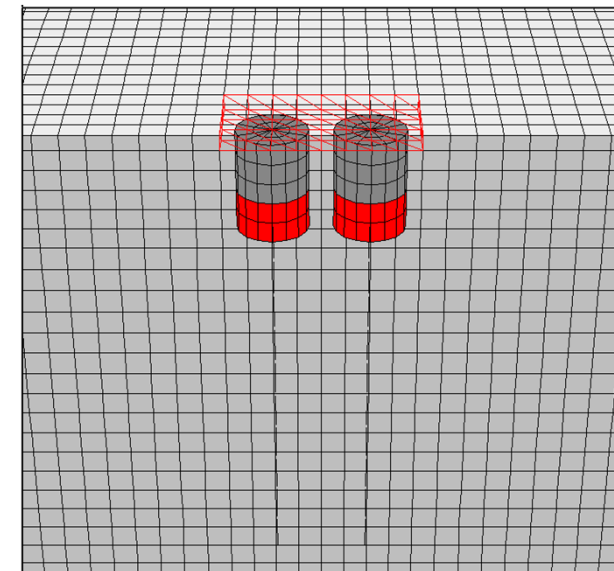
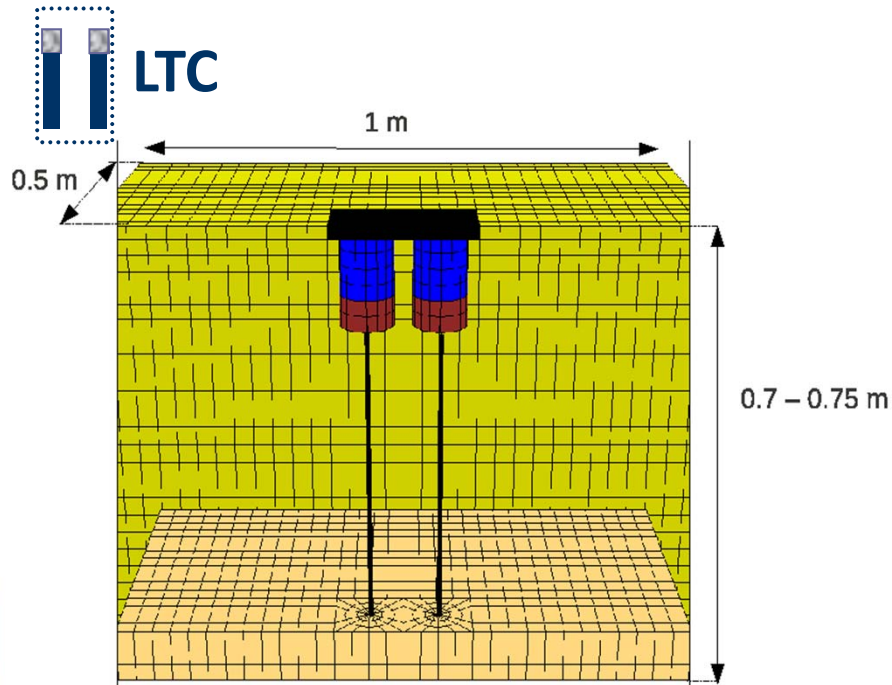
Limitation des modèles physiques

1. La distribution de la contrainte verticale
2. Simulation de la zone de transition avec des entonnoirs (apparition d'un moment parasite)



3. Modélisation numérique et analytique

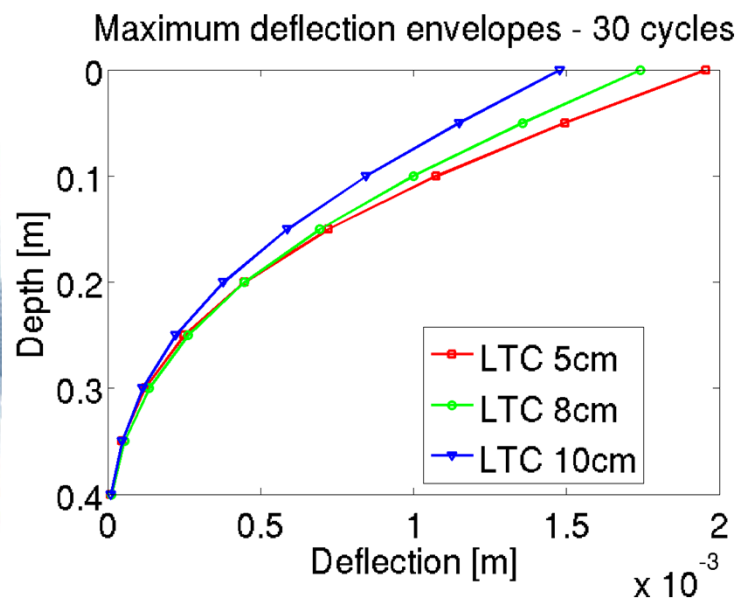
Modélisation numérique



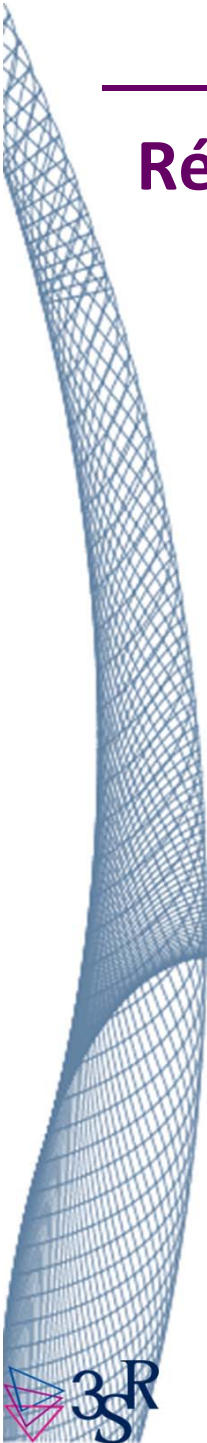
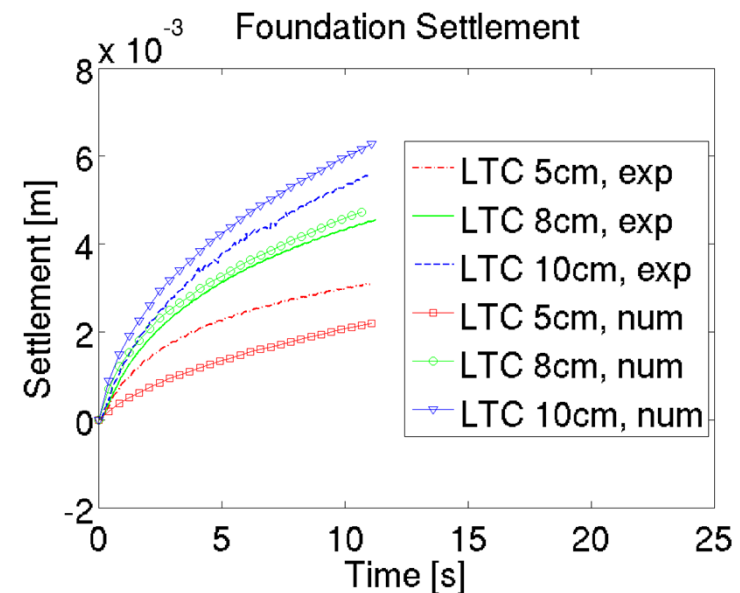
- Une modélisation numérique a été effectuée avec l'objectif de **confronter** les **résultats expérimentaux avec les résultats numériques**.
- **FLAC3D** (Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimentions) – Itasca Consulting Group INC

Résultats numériques

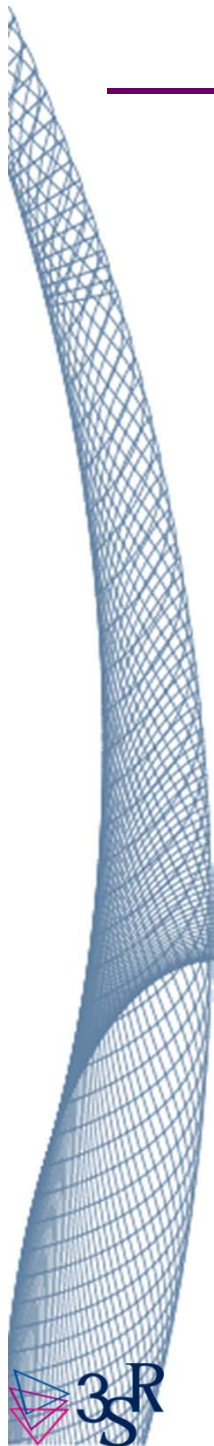
1) **Confirmation des tendances** générales **obtenues avec la modélisation expérimentale:**



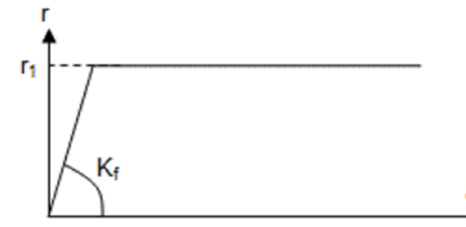
2) **Confrontation** de l'ordre de grandeur **des valeurs** physiques obtenues **expérimentalement et numériquement:**



Modélisation analytique



Loi Effort – Déformation de type:

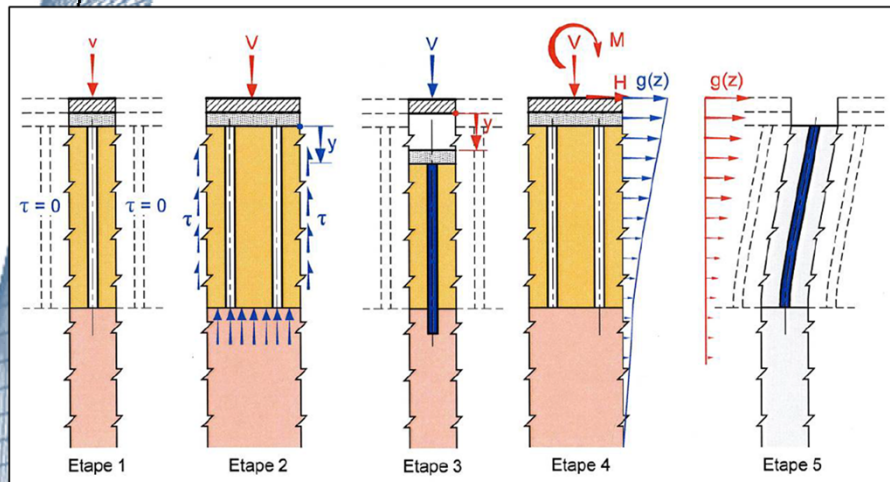
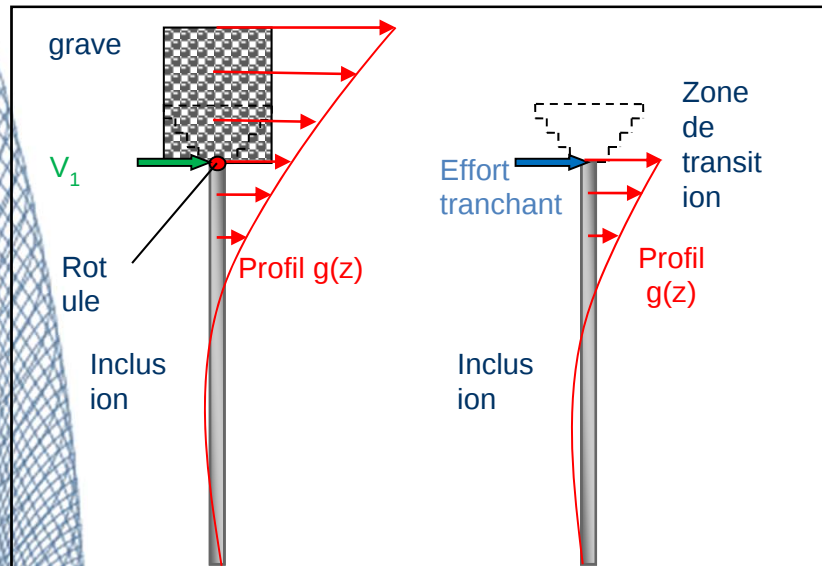


Légende : r_1 : réaction frontale ; δ : déplacement relatif de l'élément de fondation.

Bonne correspondance entre les résultats expérimentaux et les résultats de la modélisation analytique

Hypothèses :

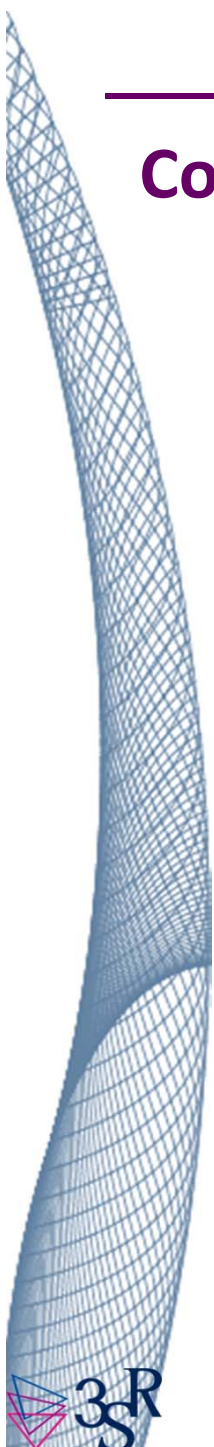
- Effort tranchant quasi nul en tête d'IR
- $g(z)$ calculé à partir de la méthode du monolithe (Simon 2011),
- **Premier cycle:** $K = 3 \times K(\text{court terme})$
- **Pour 30 cycles:** $K = K(\text{court terme})$



Méthode du monolithe (Simon 2011)

5. Conclusions

Conclusions

- 
- ⑩ But de l'étude : approfondir **la connaissance du comportement cyclique des sols compressibles renforcés** par la technique des inclusions rigides
 - ⑩ Les têtes en gravier des Colonnes Mixtes :
 - * participe à la portance de la fondation
 - * réduit fortement les tassements grâce à la partie rigide
 - * réduit les sollicitations dans la partie rigide
 - ⑩ La plupart de l'énergie est dissipée dans la partie souple des modèles - **90% de l'énergie** totale induite par le chargement de la fondation au sol est **dissipée par les couches de transfert LTCs ou LTP**.
 - Les **modélisations numériques et analytiques** montrent les **tendances** observées **expérimentalement** et permet d'envisager une **extrapolation au niveau des ouvrages réels**.

MERCI BEAUCOUP POUR VOTRE ATTENTION

