

# **Modélisation physique des problèmes de fondations profondes en chambre d'étalonnage**

Jean-Claude Dupla et Jean Canou  
UR Navier – Géotechnique (ENPC/LCPC/CNRS)



## **Plan**

Contexte

Dispositif d'essai

Comportement mécanique de micropieux sous chargements monotones et cycliques verticaux – Application aux effets de groupe (PN FOREVER)

Etude du processus de vibrofonçage d'inclusions cylindriques. Application aux pieux (PN VIBROFONCAGE)

Comportement de l'interface sol-structure sous sollicitations cycliques. Application au calcul des fondations profondes (ANR + PN SOLCYP)

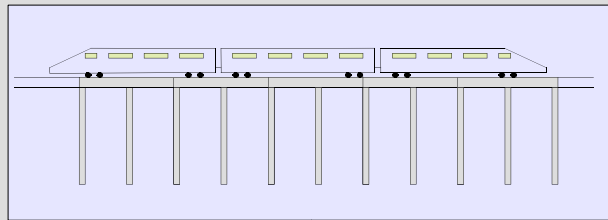
# Contexte

Amélioration des connaissances sur le comportement des fondations profondes

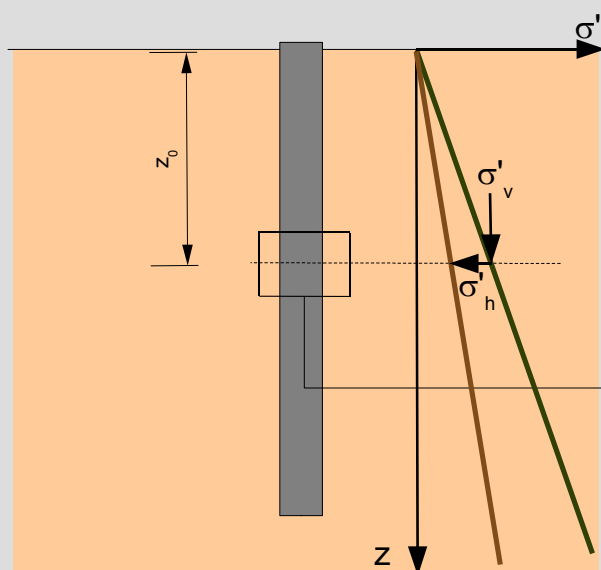
Mécanismes d'interaction

Mobilisation du frottement latéral et de la résistance en pointe

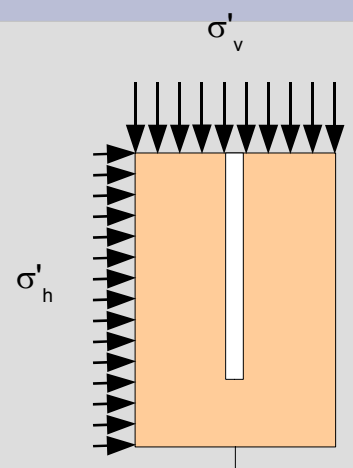
Méthode de dimensionnement



## Modélisation physique 1g

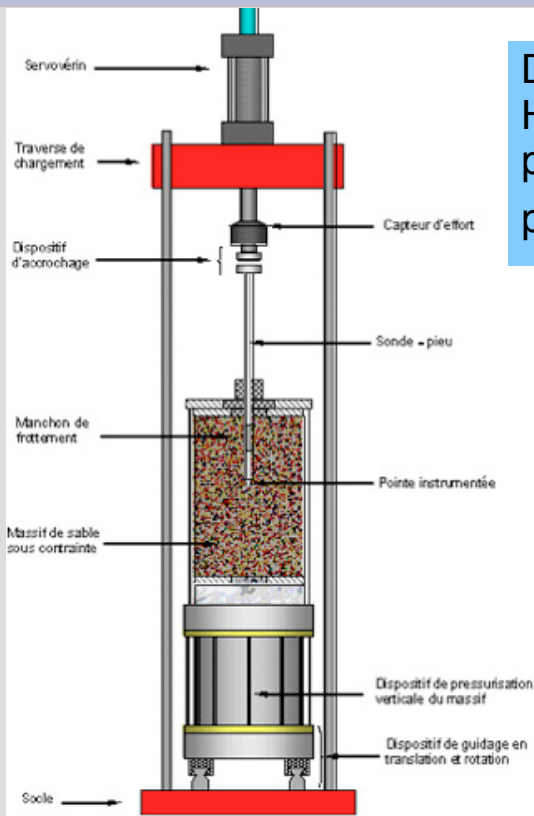


In situ

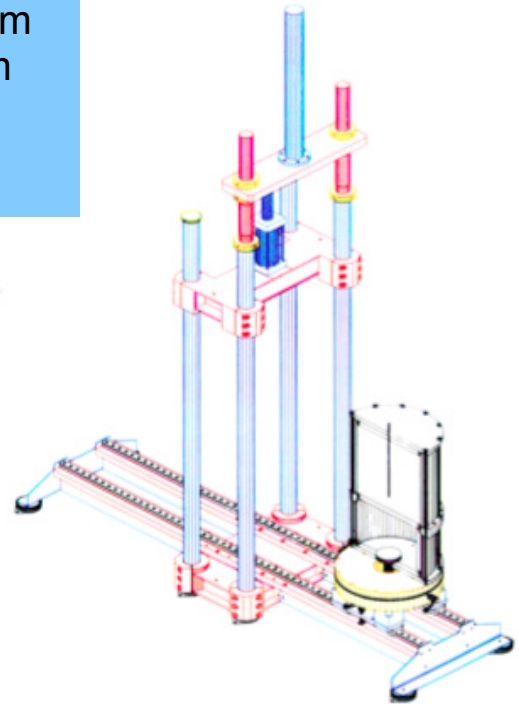


Labo

# La chambre d'étalonnage de l'UR Navier - Géotechnique



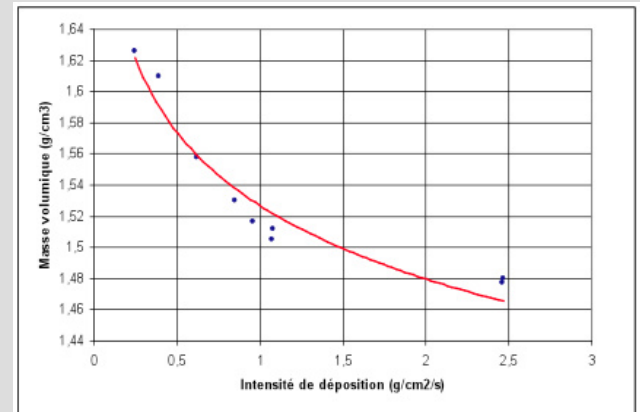
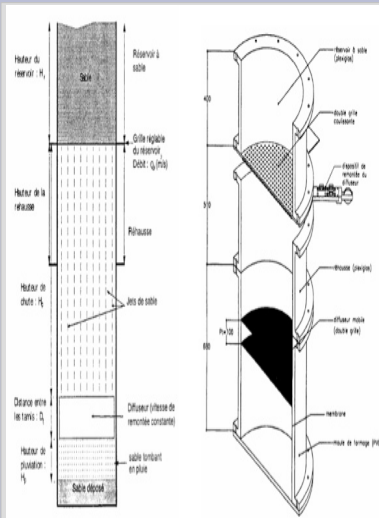
Diamètre : 524 mm  
Hauteur : 700 mm  
 $p_{\text{cell}}$  : 0 - 2 MPa  
 $p_{\text{piston}}$  : 0 - 2 MPa



## Vue générale du dispositif d'essai

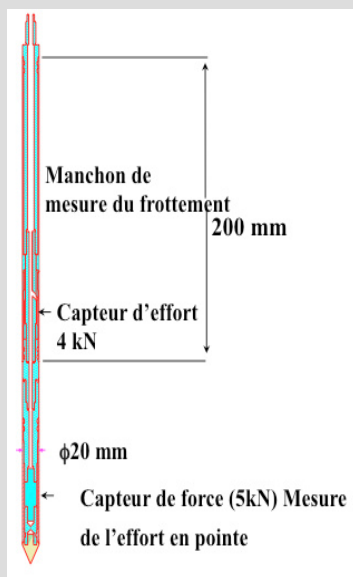


# Reconstitution du massif de sable par pluviation

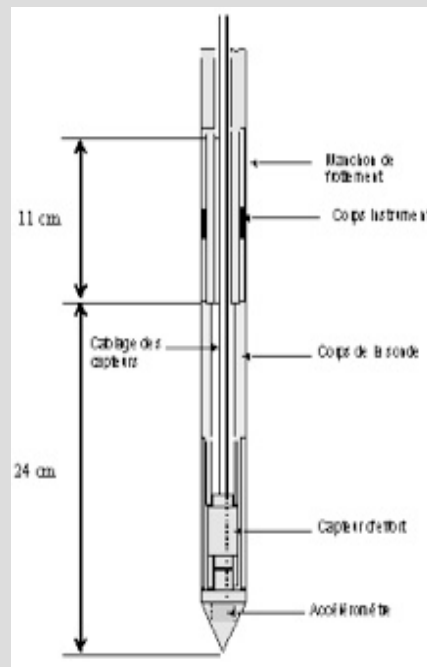


## Les sondes-pieux

$\phi$  20 mm



$\phi$  36 mm





# PN FOREVER

## 1993-2001

Clarification des mécanismes d'interaction

Amélioration des méthodes de dimensionnement

Thèse de A. Le Kouby (2003)

Micropieux sous chargement monotone

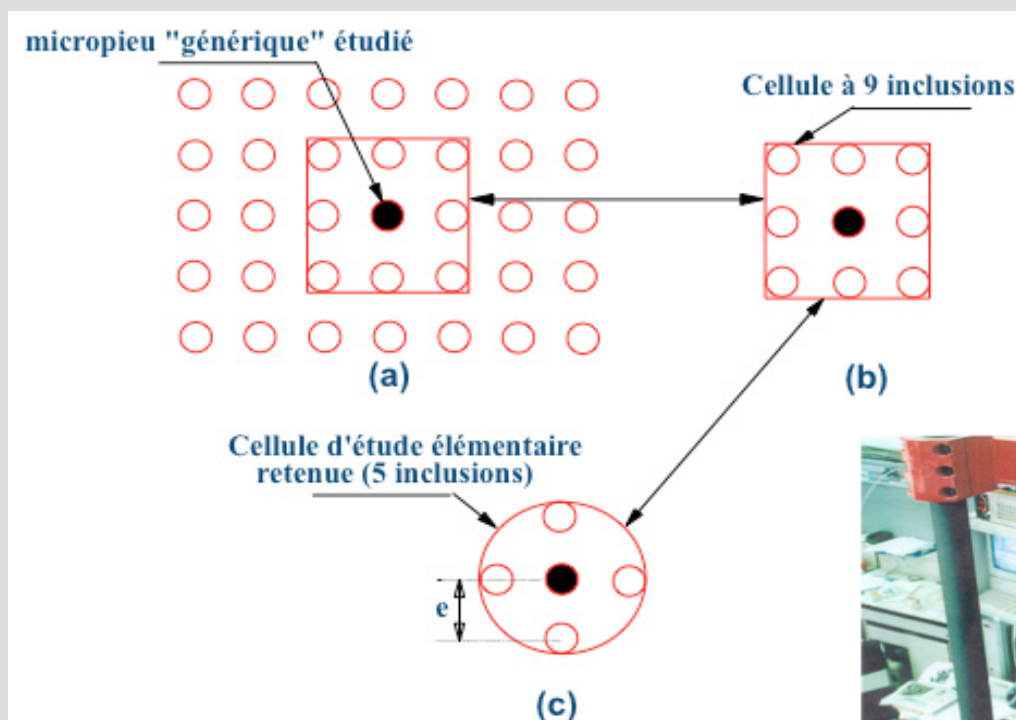
Effets de groupe et de réseau

Micropieux sous chargement cyclique

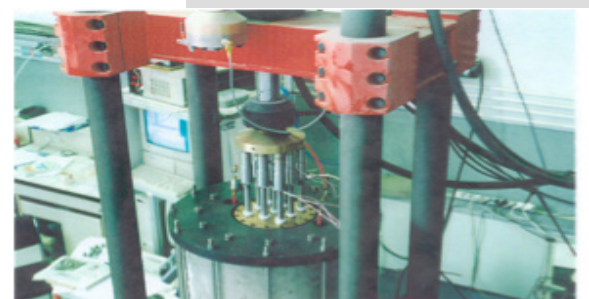
Cas de l'inclusion isolée

Cas des groupes

## Méthodologie



Sonde pieu  
 $\varnothing$  20 mm



Chargement en compression

# Etude sous chargement monotone

Espacement

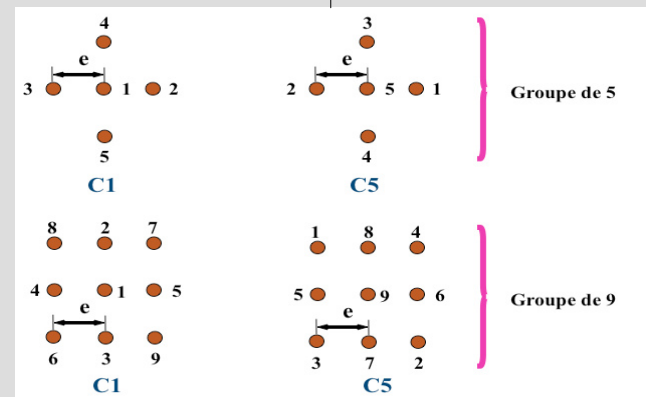
Ordre d'installation

Contrainte de consolidation

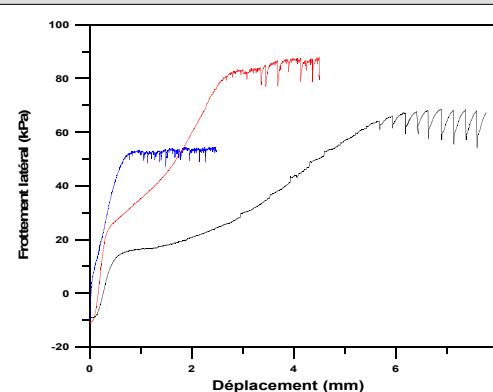
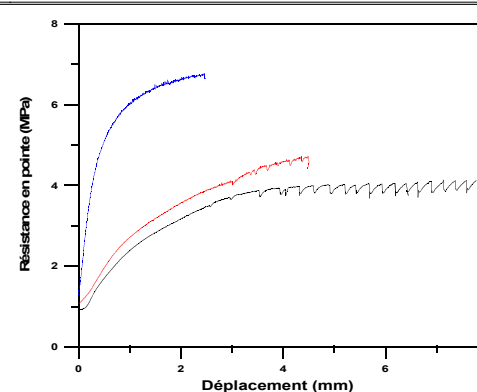
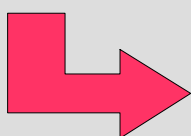
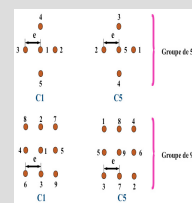
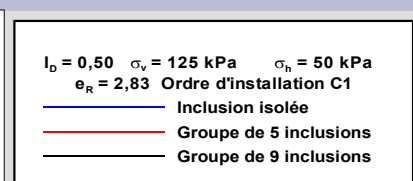
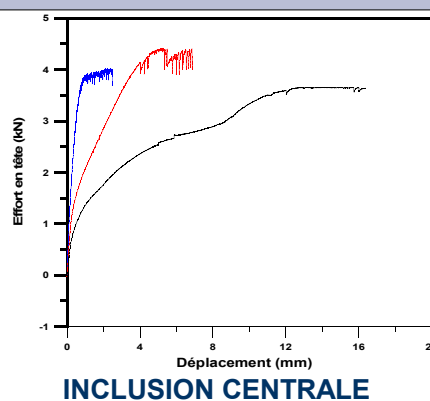
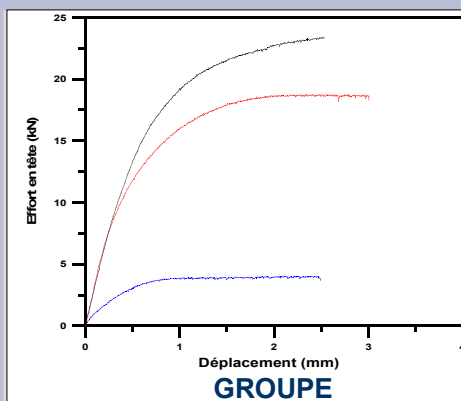
Indice de densité

Nombre d'inclusion

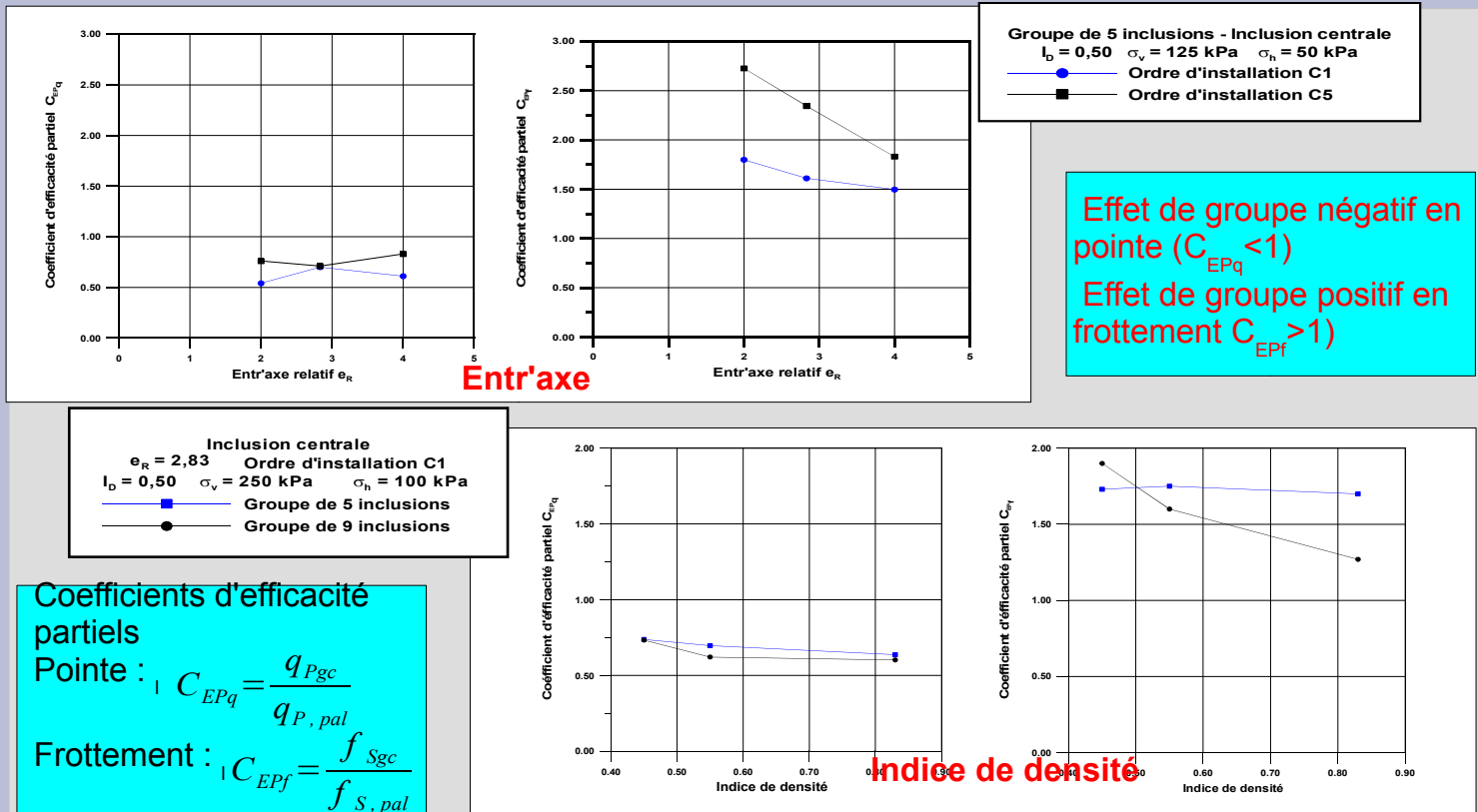
Sens de chargement



## Essai typique



# Résultats



## PN Vibrofonçage 2000-2005

Amélioration des méthodes de prévisions de la vibrofonçabilité

Evaluation de la capacité portante de pieux vibrofoncés

Evaluation des nuisances causées par la vibrofonçage

Thèse de T. Le Thiet (2005)

Modélisation physique du processus

Etude des mécanismes contrôlant le processus

# Procédure et paramètres

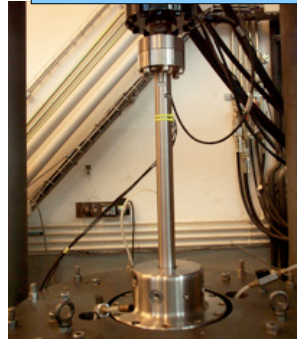
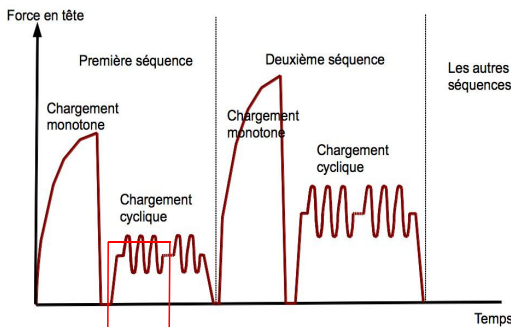
Sonde pieu  
 $\varphi$  36 mm

Charge moyenne

Amplitude

Fréquence

Contrainte de consolidation



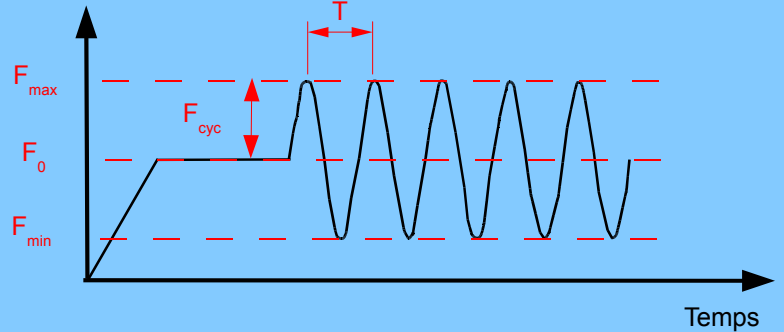
$$F = F_0 + F_{cyc} \sin \omega t$$

$$F_{max} = F_0 + F_{cyc}$$

$$F_{min} = F_0 - F_{cyc}$$

$$\omega = 2\pi f \quad T = 1/f$$

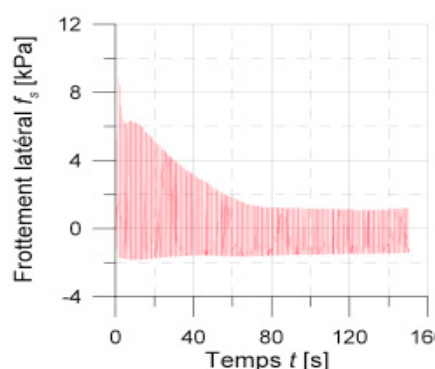
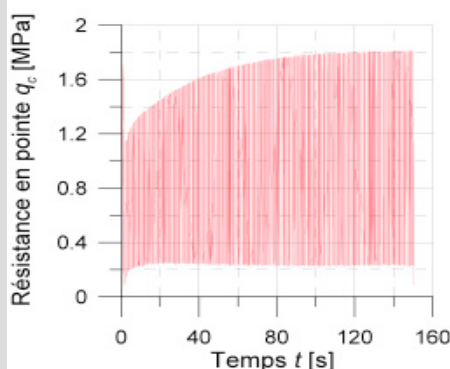
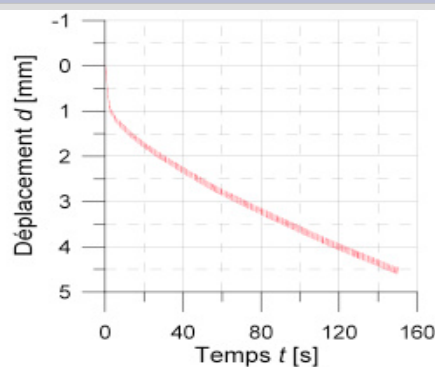
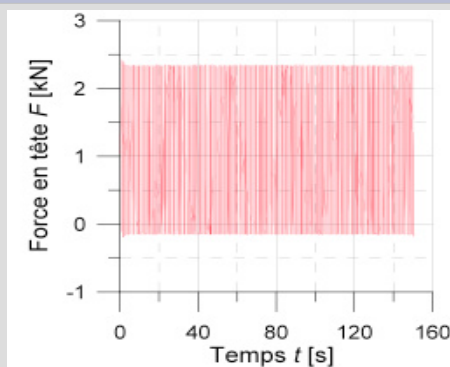
Force en tête



## Essai typique

Sable de Fontainebleau  
 $I_D = 0,8$   $\sigma_v = 125$  kPa  $\sigma_h = 50$  kPa

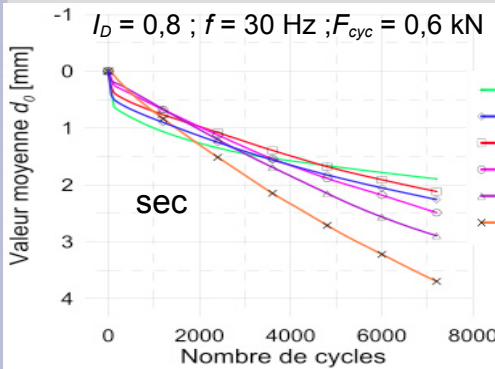
- $F_0 = 1,12$  kN
- $F_{cyc} = 1,28$  kN
- $f = 30$  Hz
- $N_{cyc} = 4500$



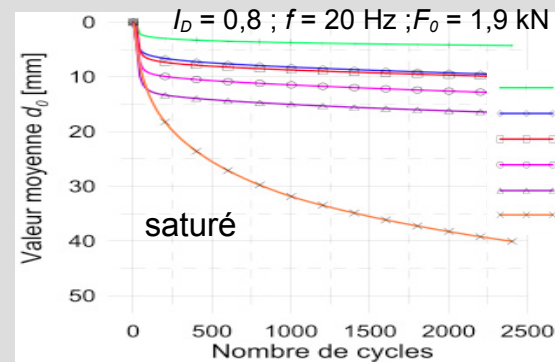


# Résultats

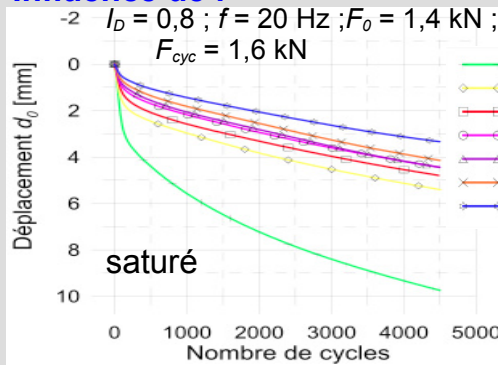
## Influence de $F_0$



## Influence de $F_{cyc}$

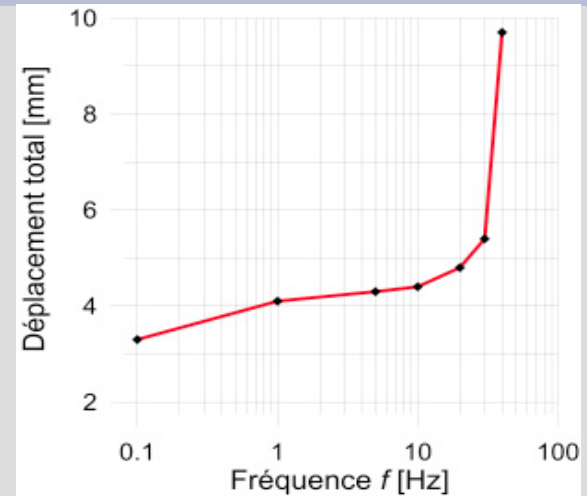
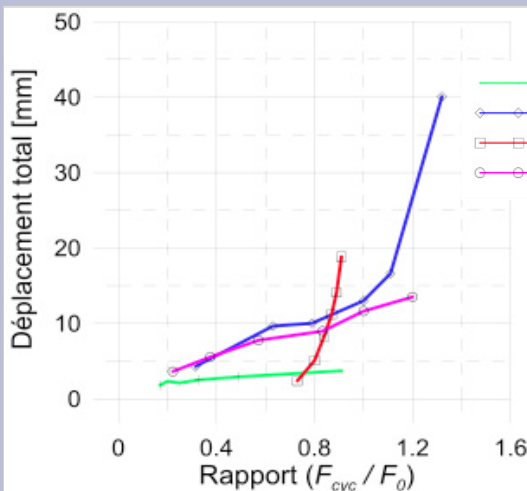


## Influence de $f$



$$d_0 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\text{nombre de mesures}}$$

# Synthèse



**Dégradation du frottement latéral et accroissement de la résistance en pointe pendant le processus de vibrofonçage.**

**Plus le rapport ( $F_{cyc} / F_0$ ) est élevé et plus la sonde s'enfonce.**

**Plus la fréquence  $f$  est élevée, et plus la sonde s'enfonce et moins la résistance en pointe  $q_c$  et le frottement latéral  $f_s$  sont mobilisés.**

**Plus la contrainte de consolidation est élevée, et plus l'enfoncement de la sonde est faible.**

# ANR + PN SOLCYP 2009 - 2012

Manque de données et absence de méthodes de calcul pour les fondations profondes sous chargement cyclique

Développer des méthodes de calcul adaptées. En particulier dans le cas des grands nombres de cycles de faible amplitude (fatigue) : trafic ferroviaire, sollicitation type éolienne, trafic routier...

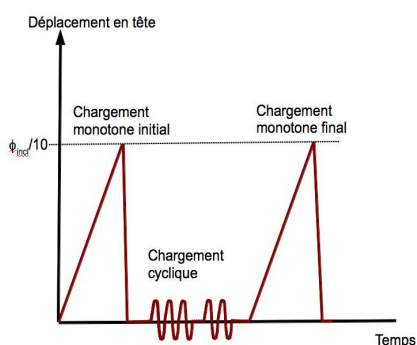
## Thèse de B. Tali (2008-2011)

Compréhension du fonctionnement local de l'interface sol-pieu

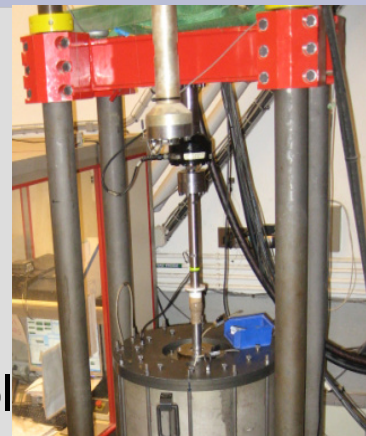
Mise en évidence des paramètres significatifs

Quantification des évolutions

## Procédure et paramètres



Sonde pieu  
 $\phi$  36 mm



Etat de densité

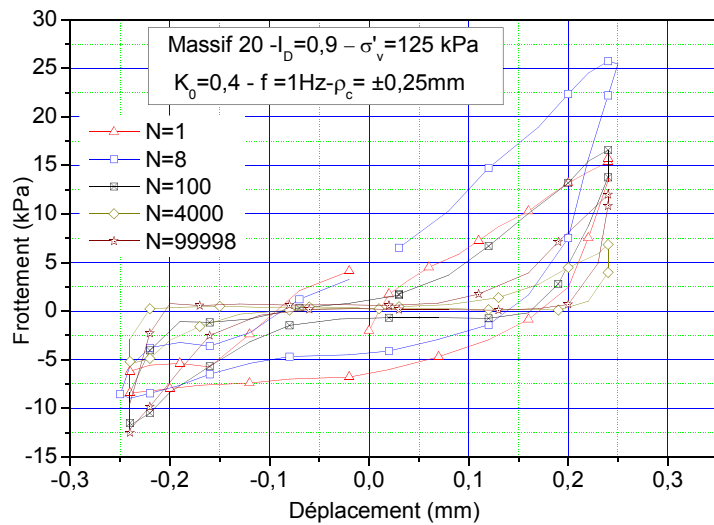
Contrainte de consolidation

Amplitude cyclique

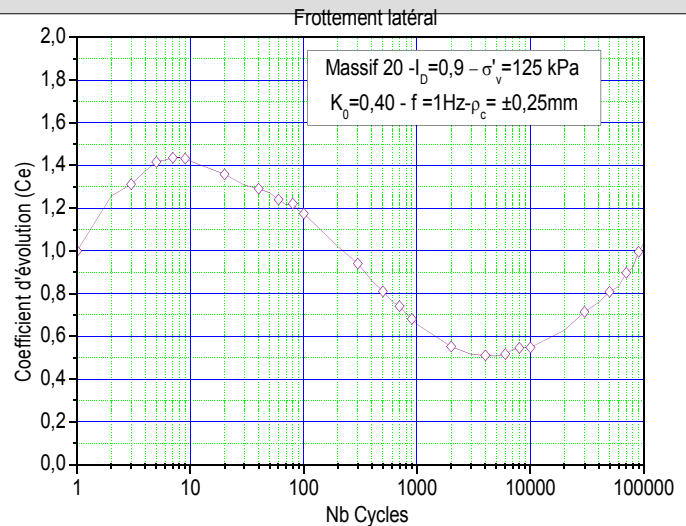
Nombre de cycles

Histoire du chargement

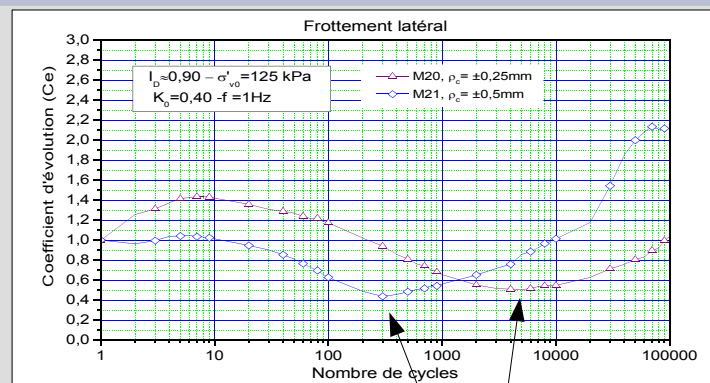
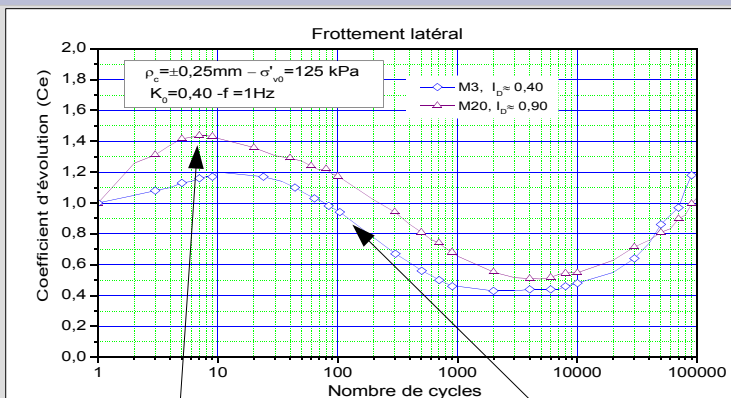
# Essai typique



$$C_e = \frac{(f_{s,max} - f_{s,min})_i}{(f_{s,max} - f_{s,min})_1}$$



## Résultats



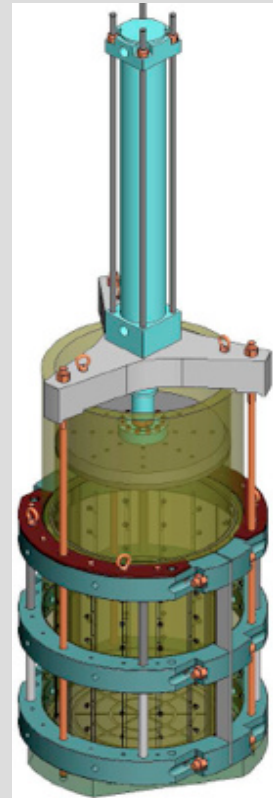
Amélioration du frottement aux premiers cycles sous faibles amplitudes du déplacement

On observe toujours une phase de dégradation

Réauginement du frottement à grand nombre de cycles

# Poursuite : sols fins

Développement d'un consolidomètre pour les massifs d'argile



## Conclusion

### Modélisation physique 1 g

Etudes paramétriques « rapides »

Etude fine des interactions sol-structure

Lois de mobilisation du frottement latéral et de la résistance en pointe

Paramètres pour la modélisation