



RAPPORT DE RECHERCHE

Thème 3 :

Expérimentations en centrifugeuse sur pieux foncés
1ère phase : (a) effet du mode de mise en place, (b)
effet de l'histoire de chargement.

Auteur : Matthieu BLANC

Organisme : IFSTTAR

R/13/SOL/016
LC/13/SOL/44
Juillet 2013

SOLCYP/FICHE SIGNALÉTIQUE

TITRE : Expérimentations en centrifugeuse sur pieux foncés 1^{ère} phase : (a) effet du mode de mise en place ; (b) effet de l'histoire de chargement. Essais préliminaires

RAPPORT N° : R/13/SOL/016

DATE D'ÉTABLISSEMENT : Juillet 2013

AUTEUR(S) : Matthieu BLANC

ORGANISME(S) CHARGE(S) DE L'ACTION : IFSTTAR

THEME DE RATTACHEMENT : 3, Essais de pieux

LETTRE DE COMMANDE : 13/SOL/44

Institut français des sciences et technologies des transports de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar)

Cité Descartes
Boulevard Newton
Champs-sur-Marne
77447 Marne-la-Vallée Cedex 2
Tél. : 01 40 43 50 00
Fax : 01 40 43 54 98

IFSTTAR-centre de Nantes

Route de Bouaye, CS4, 44344 Bouguenais Cedex
La 47.154889 Lo -1.63878

Remerciements

Pour mener à bien ce programme expérimental, (conception, développement, mise au point et réalisation) plusieurs intervenants ont apporté leur contribution :

<i>Philippe Audrain</i>	<i>Laboratoire Terrassements et Centrifugeuse</i>	<i>GERS-TC</i>
<i>Claude Favraud</i>	<i>Laboratoire Terrassements et Centrifugeuse</i>	<i>GERS-TC</i>
<i>Patrick Gaudicheau</i>	<i>Laboratoire Terrassements et Centrifugeuse</i>	<i>GERS-TC</i>
<i>Alain Néel</i>	<i>Laboratoire Terrassements et Centrifugeuse</i>	<i>GERS-TC</i>

LISTE DE DIFFUSION

NOM	ADRESSE
Matthieu Blanc	matthieu.blanc@ifsttar.fr
Alain Puech	a.puech@fugro.com
Meriam Benamor	m.benamor@fugro.com
Luc Thorel	luc.thorel@ifsttar.fr

Abstract (*facultatif*)

Key-Words : centrifuge, reduced scale models, piles, cyclic vertical load

Résumé

Ce rapport présente des éléments relatifs à l'essai de mise au point du dispositif expérimental destiné à étudier le comportement de pieux sous charge cyclique verticale, incluant une phase de fonçage.

Mots clés : Centrifugeuse, modèles réduits, pieu, charge verticale cyclique

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Facteurs d'échelle utilisés pour l'étude.	12
Tableau II. Caractéristiques du sable de Fontainebleau (Sobesol, 2007).	12
Tableau III. Distribution granulométrique du sable de Fontainebleau N34 (Sobesol, 2007).	12
Tableau IV. Valeurs de corrections d'effort pour chaque palier.	19

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Diagramme de stabilité cyclique (Poulos, 1981).	10
Figure 2. Diagramme de stabilité des pieux sous chargement cyclique axial (sable de Fontainebleau fortement dense) (Gurefrech & Rault, 2012).	11
Figure 3. Ensemble du dispositif expérimental utilisé pour la reconstitution des massifs de sable.	13
Figure 4. Représentation schématique du pieu instrumenté.	14
Figure 5. Définition de la rugosité à l'interface pieu et particule.	15
Figure 6. Montage expérimental : photo du montage embarqué en centrifugeuse (gauche) - représentation schématique du montage (droite).	16
Figure 7. Liaison entre le vérin et le pieu : photo (gauche) - représentation schématique (droite).	16
Figure 8. Représentation schématique du pré-fonçage du pieu à 1g.	18
Figure 9. Principe d'un essai de chargement cyclique.	20

SOMMAIRE

Rapport d'étude.....	1
Département GERS / Laboratoire Terrassements et Centrifugeuse	1
1 Introduction.....	9
1.1 Contexte de l'étude.....	9
1.2 Objectifs de l'étude	11
2 Dispositif expérimental	11
2.1 Modélisation en centrifugeuse.....	11
2.2 Matériau granulaire.....	12
2.2.1 Caractérisation	12
2.2.2 Préparation du massif.....	13
2.3 Pieux modèles	14
2.3.1 Pieux instrumentés	14
2.3.2 Etat de surface des pieux : rugosité.....	14
2.4 Dispositif de chargement	15
2.4.1 Montage expérimental	15
2.4.2 Instrumentation	16
3 Campagne expérimentale	17
3.1 Protocole expérimental.....	17
3.1.1 Pré-fonçage à 1g.....	17
3.1.2 Phase de préconditionnement du massif.....	18
3.1.3 Fonçage à 23g	19
3.1.4 Chargement.....	19
3.2 Programme expérimental	20
4 Synthèse des essais.....	20
5 Analyse des résultats.....	20
Références	21

1 Introduction

Les travaux présentés dans ce rapport font suite aux expérimentations réalisées dans le cadre du projet ANR-SOLCYP, au cours duquel des pieux moulés avaient été soumis à un chargement vertical cyclique afin d'identifier le diagramme de stabilité.

L'enjeu du présent programme est de poursuivre la même étude, mais dans le cas de pieux foncés. Cela a nécessité des modifications dans le montage et dans la procédure d'essai.

Dans ce pré-rapport sont présentés les essais de mise au point du dispositif réalisés au cours de la première semaine de juillet 2013.

1.1 Contexte de l'étude

Selon Poulos (1981), le diagramme de stabilité cyclique permet d'analyser la réponse d'un pieu soumis à des actions cycliques axiales et d'en évaluer le comportement en fonction de la combinaison de ces actions et du nombre de cycles.

Le diagramme (XXX) est défini par 3 zones :

- une région A stable cycliquement : le chargement cyclique n'a pas d'influence dans ce cas sur la capacité axiale du pieu ;
- une région B métastable cycliquement : le chargement cyclique cause une certaine réduction de la capacité axiale du pieu ;
- une région C instable cycliquement : le chargement cyclique provoque une réduction significative de la capacité axiale du pieu pouvant mener jusqu'à la rupture au bout d'un nombre de cycle N.

Les limites des zones ainsi définies correspondent à un nombre de cycles égal pour atteindre la rupture. Le cadre de l'étude consiste à tester différents types de chargements remarquables et d'en connaître le nombre de cycles pour atteindre la rupture : on s'attache uniquement à étudier le comportement sous charges axiales.

La construction du diagramme est faite en associant les paramètres caractéristiques d'un cycle : l'amplitude Q_c en fonction du chargement moyen Q_m normalisé par la résistance ultime en compression Q_{rc} (ou résistance ultime en traction Q_{rt}).

On rappelle que :

- Q_{rc} : résistance à la compression monotone ;
- Q_{rt} : résistance à la traction monotone (arrachement) ;
- Q_m : la composante moyenne de la charge cyclique ;
- Q_c : amplitude de la sollicitation cyclique.

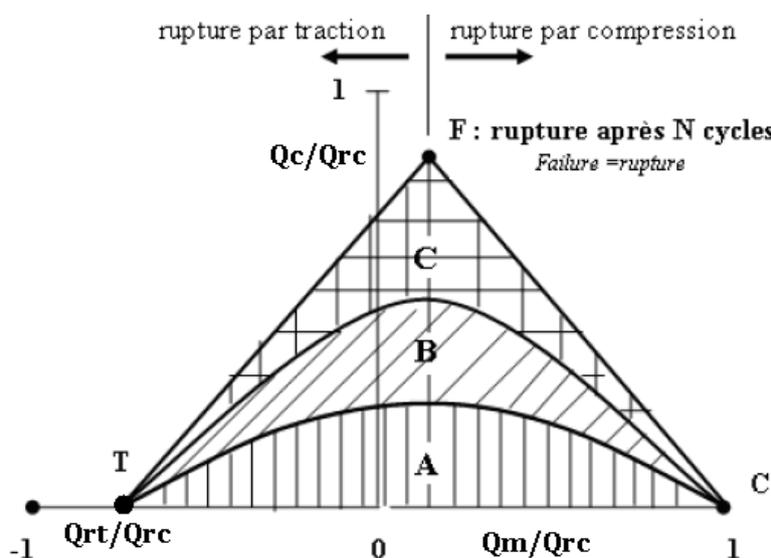


Figure 1. Diagramme de stabilité cyclique (Poulos, 1981).

Les points et axes remarquables de ce diagramme sont les suivants :

- $C (Q_m / Q_{rc} = 1 ; Q_c / Q_{rc} = 0)$: correspond à la rupture sous chargement monotone en compression. En effet, il n'y a pas de composante cyclique. De plus, la charge en compression appliquée correspond à la rupture.
- $T (-Q_{rt} / Q_{rc} ; Q_c / Q_{rc} = 0)$: correspond également à la rupture sous chargement monotone en traction. Ce point n'atteint pas -1 car la capacité en traction est inférieure à la capacité en compression. Cette différence est due à la résistance du sol en pointe.
- Les points sur l'axe des abscisses ($Q_c / Q_{rc} = 0$ et $-Q_{rt} / Q_{rc} < Q_m / Q_{rc} < 1$) correspondent à une rupture impossible.
- La droite CF d'équation $Q_c / Q_{rc} = 1 - Q_m / Q_{rc}$ correspond à une charge maximale t.q. $Q_c = Q_{rc} - Q_m$. On atteint donc la rupture en compression au premier cycle.
- De même la droite TF d'équation $Q_c / Q_{rc} = Q_{rt} / Q_{rc} - Q_m / Q_{rc}$ correspond à une rupture en traction est atteinte dès le premier cycle pour la même raison.

Ainsi, les cas de chargement favorables aux cycles (nombre élevé de cycles) combinent des paramètres Q_c et Q_m proches de l'abscisse, et inversement les cas de chargement combinant des valeurs de paramètres proches des diagonales seront défavorables aux cycles.

Une précédente campagne expérimentale en centrifugeuse (Gurefrech & Rault, 2012) a permis de dévoiler les contours de ce diagramme de stabilité dans le cadre de pieux moulés ayant une certaine rugosité.

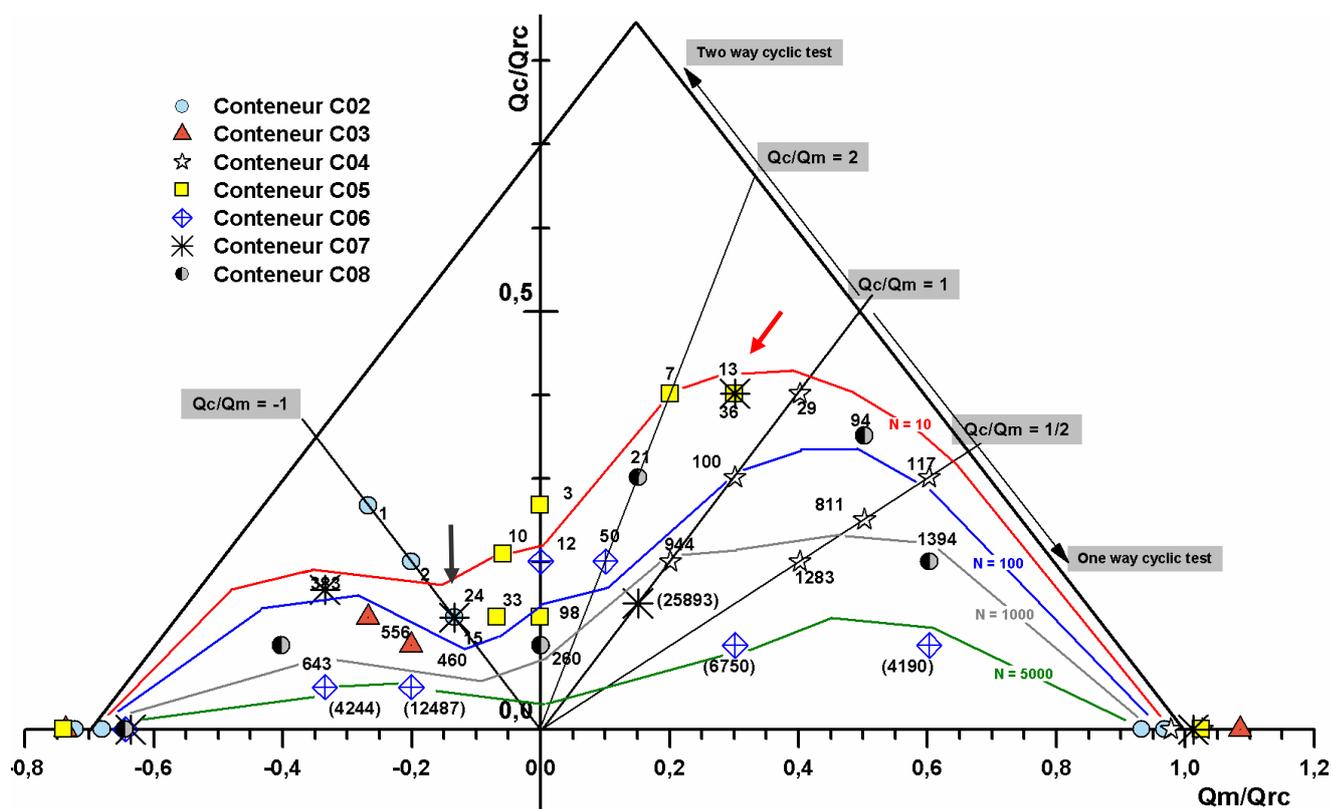


Figure 2. Diagramme de stabilité des pieux sous chargement cyclique axial (sable de Fontainebleau fortement dense) (Gurefreh & Rault, 2012).

1.2 Objectifs de l'étude

Cette présente étude compte trois objectifs principaux :

- confronter des pieux de différentes rugosités,
- comparer différents modes de mise ne place : pieux moulés & pieux fondés,
- étudier l'influence de l'histoire du chargement : effectuer des combinaisons de cycles d'amplitudes variées dans des ordres différents.

Ce pré-rapport présente les dispositifs expérimentaux qui ont été développés afin de répondre à ces nouveaux objectifs.

2 Dispositif expérimental

2.1 Modélisation en centrifugeuse

Les essais en vraie grandeur nécessitent souvent des budgets lourds en termes de moyens et de temps consacré. Ceci se vérifie aussi pour les essais sur les fondations profondes. De plus la variabilité naturelle des sols d'un site n'est pas toujours facilement identifiable. L'unicité de l'essai de pieu associé à l'ouvrage ne permet pas toujours de conduire le protocole d'essais jusqu'à la rupture et doit tenir compte des aléas du site (condition de chantier, d'instrumentation, homogénéité du site,...). Ce type d'essais s'avère donc difficile et parfois délicat à analyser, mais néanmoins indispensable pour tester des procédés de mise en place par exemple.

L'approche expérimentale par le biais de modèles réduits centrifugés permet de modéliser l'ouvrage en vraie grandeur à condition que certaines règles soient respectées. Ces lois dites de similitude permettent de transposer les comportements statiques, cycliques ou dynamiques du modèle réduit vers l'ouvrage réel appelé prototype.

Parmi les avantages de la modélisation physique en centrifugeuse, on souligne notamment la possibilité de dupliquer les essais afin de vérifier un comportement, de référence par exemple, de multiplier les configurations, de les réaliser dans des conditions idéales de reconstitution et de mise en œuvre parfaitement maîtrisées et de les conduire jusqu'à la rupture sans trop de risque pour les équipements et l'instrumentation récupérable.

Le Tableau I présente les paramètres et grandeurs principaux utilisés pour l'étude en cours où le rapport N est le facteur d'échelle à appliquer pour respecter l'analogie de comportement entre le prototype et le modèle réduit.

On rappelle que les essais sont réalisés sous une gravité constante de 23g, accélération centrifuge équivalente au rapport de réduction dimensionnel des modèles.

Tableau I. Facteurs d'échelle utilisés pour l'étude.

Grandeur physique	Facteur d'échelle
accélération	1
longueur	1/N
déplacement	1/N
déformation	1
force	1/N ²
force de masse	N
contrainte	1
masse	1/N ³
poids	1/N ²
masse volumique	1
fréquence	N
temps dynamique	1/N
vitesse dynamique	1

2.2 Matériau granulaire

2.2.1 Caractérisation

Tous les essais sous charges axiales ont été réalisés en utilisant du sable de Fontainebleau NE34 dont on rappelle dans le Tableau II et Tableau III, les principales caractéristiques et la distribution granulométrique issues du rapport d'essais de caractérisation établi par Sobesol (2007).

La détermination des densités maximale et minimale est utile pour encadrer le calcul de l'indice de densité de chaque massif reconstitué

Tableau II. Caractéristiques du sable de Fontainebleau (Sobesol, 2007).

ρ_{dmin} (g/cm ³)	ρ_{dmax} (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)
1,417	1,736	2,65

Tableau III. Distribution granulométrique du sable de Fontainebleau N34 (Sobesol, 2007).

Tamis (mm)	0,5	0,2	0,1	0,08

Passant (%)	100	35,4	0,5	0,2
-------------	-----	------	-----	-----

2.2.2 Préparation du massif

La préparation des massifs de sable de Fontainebleau est réalisée par la méthode de pluviation dans l'air au moyen de la trémie automatique de l'IFSTTAR installée dans une salle dédiée. La Figure 3 présente les détails du dispositif expérimental utilisé pour la préparation des massifs de sable et permet de comprendre le fonctionnement de l'installation.

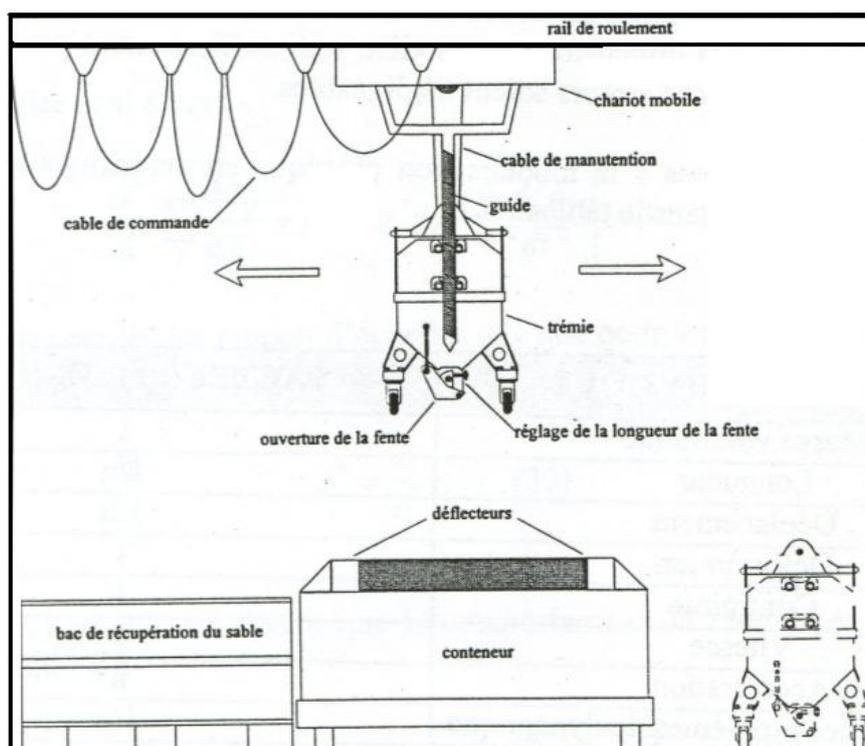


Figure 3. Ensemble du dispositif expérimental utilisé pour la reconstitution des massifs de sable.

Les paramètres de réglage de la trémie conditionnent la densité finale du massif : l'ouverture de la fente, la hauteur de chute et la fréquence (nombre) d'aller/retour de la trémie. La remontée de la trémie se fait automatiquement.

Par exemple, pour atteindre la densité relative visée de 90%, les paramètres sont suivants :

- une hauteur de chute de 900 mm,
- une ouverture de la fente de 3 mm,
- une vitesse de déplacement de 4 allers et retours (réglage des paramètres du moteur équivalent à 50 Hz).

Pour préparer un conteneur de sable avec un indice de densité proche de 73%, les paramètres suivants doivent être utilisés :

- une hauteur de chute de 750 mm,
- une ouverture de la fente de 4 mm,

- une vitesse de déplacement de 2 allers et retours (réglage des paramètres du moteur équivalent à 22 Hz)

Le massif de sol est reconstitué dans un conteneur métallique rectangulaire, assemblage de deux éléments superposés de 360 mm de profondeur ce qui permet de réaliser un massif de sol d'une hauteur totale de 720 mm compte tenu de la fiche des pieux (560 mm).

2.3 Pieux modèles

2.3.1 Pieux instrumentés

Le pieu modèle est un pieu cylindrique à pointe plate de diamètre 18 mm, de longueur 590 mm et de fiche 560mm. Ce pieu est instrumenté en pointe d'un capteur de force *Measurement Specialties* XF3057 de résistance maximale en traction et en compression de 17kN. Ce capteur de force se situe à 25 mm de la pointe et fait 21 mm de long. Afin de laisser passer le câble d'alimentation et de mesure, la partie supérieure du pieu est constituée de trois tubes creux (de diamètre interne 5 mm) vissés les uns dans les autres d'une longueur totale de 544 mm.

poinds des parties inf et sup du pieu ?

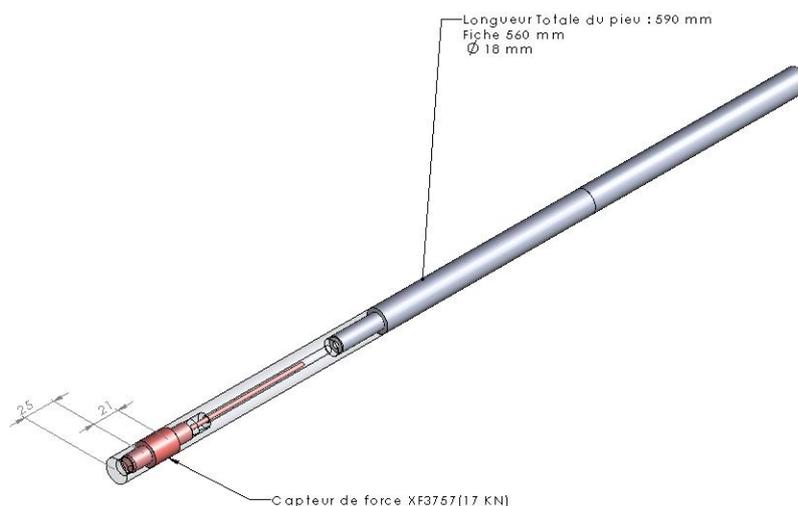


Figure 4. Représentation schématique du pieu instrumenté.

2.3.2 Etat de surface des pieux : rugosité

L'état de surface des pieux influence le contact sol-pieu et par voie de conséquence la capacité portante du pieu ainsi que son comportement à long terme vis à vis de sollicitations de type cycliques. En effet, la mobilisation du cisaillement par frottement sur la surface latérale du pieu dépend de la rugosité de ce dernier.

On définit la rugosité normalisée R_n par le rapport :

$$R_n = \frac{R_{max}}{D_{50}} \quad (1)$$

avec D_{50} : diamètre moyen des grains du sol, R_{max} : profondeur des aspérités sur une longueur de D_{50} .

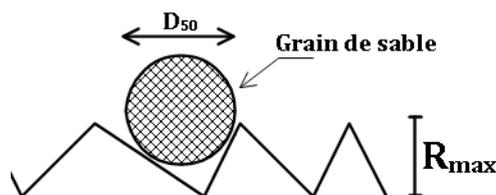


Figure 5. Définition de la rugosité à l'interface pieu et particule.

Selon Lings & Dietz (2005) :

- interface lisse : $R_n < 0,02$ ou $R_a/D_{50} < 0,003$ (non dilatant),
- interface rugueuse : $R_n > 0,5$ ou $R_a/D_{50} > 0,08$.

avec R_a , la moyenne arithmétique de l'écart à la surface de référence.

Par exemple, sachant que pour le sable de Fontainebleau, D_{50} est de l'ordre de 0,2 mm, s'il on veut assurer une rugosité normalisée $R_n = 1$, il faut que l'état de surface des pieux présente une valeur de $R_{max} = 0,2$ mm ; pour garantir ce type de rugosité, l'usinage de l'enveloppe des pieux modélisés doit être usinée avec une filière de 200 μm .

En adoptant un état de surface de type rugueux, la mobilisation de l'effort de cisaillement devient maximale et le plan de rupture se manifeste non pas au niveau de l'interface sol-pieu mais dans le sol environnant.

Dans le cadre de notre étude, deux types de rugosité différente sont étudiés avec des pieux usinés à 100 et 200 μm correspondant à $R_n = 0,5$ et 1.

2.4 Dispositif de chargement

2.4.1 Montage expérimental

L'application du chargement au pieu, aussi bien monotone que cyclique, se fait au moyen d'un servo-vérin hydraulique. Le vérin est contrôlé par un tiroir de contrôle-commande MOOG ST003014-205 positionné dans l'axe de la centrifugeuse. Ce contrôleur est relié par Ethernet jusqu'à un ordinateur situé dans le centre de commande permettant d'effectuer les différentes séquences de chargement à réaliser au cours de l'essai.

Dans la configuration de l'essai, le vérin est positionné verticalement au-dessus du pieu (Figure 6). Il est fixé sur une bi-poutre rigide, elle-même posée sur des plats martyrs vissés sur les bords longitudinaux du conteneur. L'ensemble est fixé rigidement par des pinces de serrage pour reprendre les efforts de poussée. Vu les possibilités de réglage, l'ensemble de vérinage peut être déplacé rapidement d'un emplacement à l'autre sans modifier fondamentalement le dispositif.

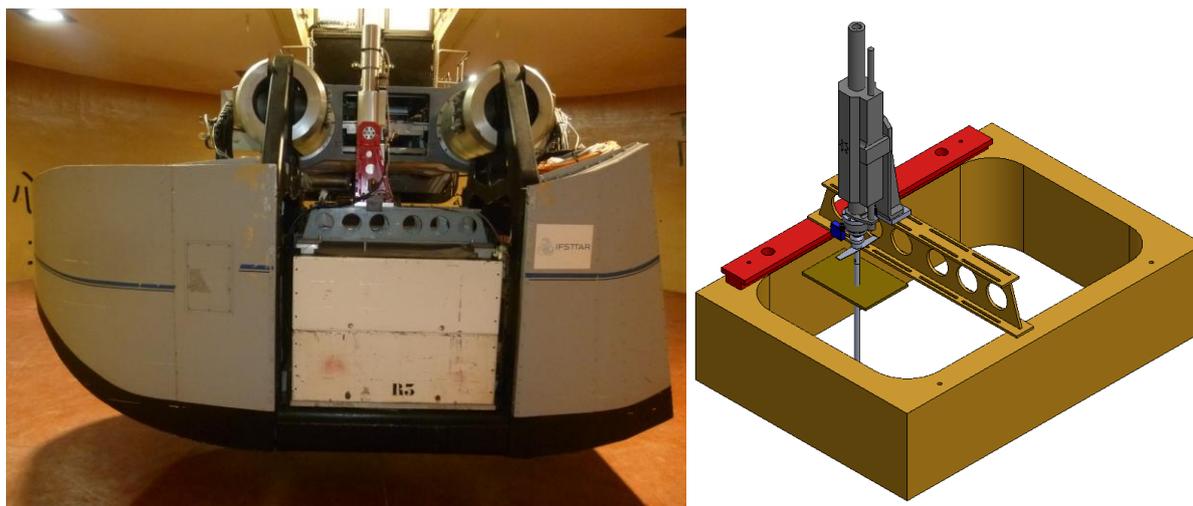


Figure 6. Montage expérimental : photo du montage embarqué en centrifugeuse (gauche) - représentation schématique du montage (droite).

La liaison vérin – modèle (Figure 7) est faite au moyen d'un filetage intérieur de la tête du pieu. Entre la base du piston du vérin et le pieu sont intercalés, du haut vers le bas, un capteur de force et une pièce de liaison rotulée. Le montage mécanique spécifique, sous jacent à la cellule de force, est conçu pour autoriser une articulation rotulée sans déplacement axial au droit de la liaison vérin-pieu. Ce principe de montage fait que le capteur reprend le poids propre du système mécanique pendant les phases de montée en accélération, élément pour lequel une correction est appliquée (§3.1.2). Associée à la rotule par un système d'écrou et contre-écrou, une barrette disposée horizontalement est positionnée sur la tête du pieu. Des cibles sont collées sur la face plane de la barrette, plan qui définit la référence des capteurs de déplacement verticaux.

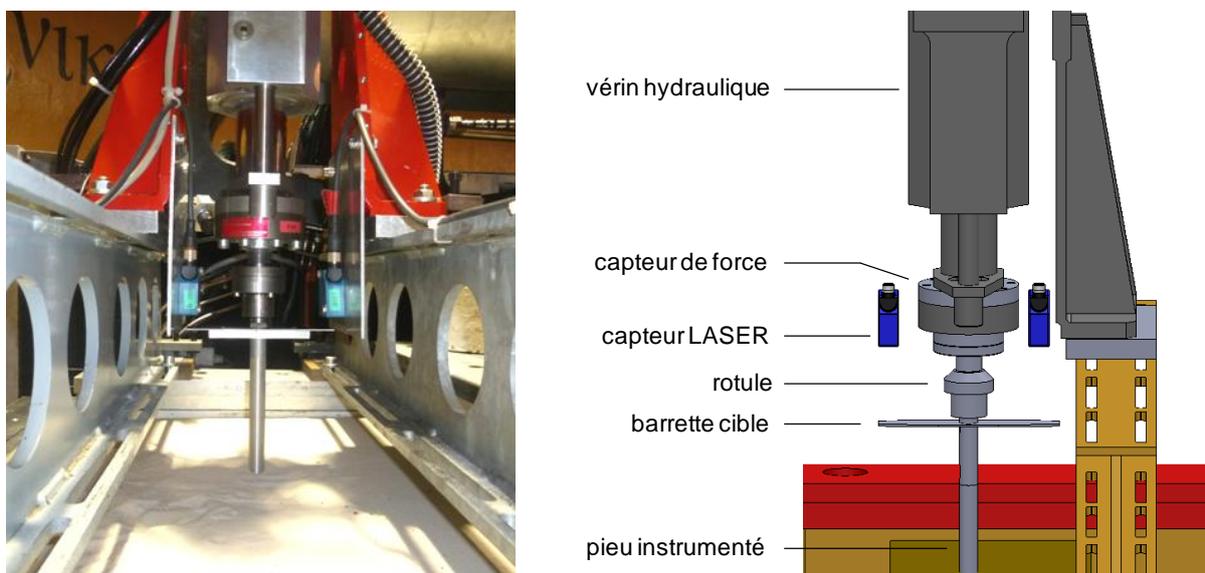


Figure 7. Liaison entre le vérin et le pieu : photo (gauche) - représentation schématique (droite).

2.4.2 Instrumentation

L'instrumentation consiste essentiellement à mesurer la force et le déplacement :

- les capteurs d'efforts verticaux :
 - la cellule de force de marque FGP (répertoriée sous la nomenclature F34 dans le parc interne au groupe GERTC) a été choisi en fonction de la plage de mesure attendue et de son utilisation en traction compression : sa capacité est de 25 kN,
 - le capteur de force en pointe du pieu (§2.3.1)
- les capteurs de déplacement sont placés de la façon suivante :
 - un capteur de déplacement magnétostrictif de la compagnie *TWK (MAGNOSENS MSE 1/300 S 010 - 1 E 01)*, externe au vérin, contrôle les mouvements du piston du vérin (asservissement en déplacement). Ce capteur à une étendue de mesure de 300 mm,
 - la mesure du déplacement du pieu est assuré par 2 autres capteurs lasers *WENGLOR* d'étendue de mesure 120 mm between 40 - 160 mm (désignation : D130 et D137) montées sur un support rigide fixé sur l'embase du vérin. Les deux spots lumineux des capteurs lasers sont pointés sur les cibles collées sur la barrette horizontale. La moyenne des 2 mesures correspond au déplacement axial du pieu.

3 Campagne expérimentale

3.1 Protocole expérimental

3.1.1 Pré-fonçage à 1g

Une fois le massif de sol préparé (§2.2.2), le pieux est pré-foncés à 1g. Pour cela, le vérin est positionné à 600 mm à la verticale du futur emplacement du pieu grâce à un empilement de bipoutres. Le pieu est pincé dans le casque de fonçage lui-même fixé à une tige de 500 mm coulissant librement à l'intérieur du vérin. Le fonçage de 500 mm s'effectue en deux phases de 250 mm. Une première phase de fonçage est appliquée : le vérin appuie sur le casque. L'ensemble pieu - vérin - tige descend donc de 250 mm. On remonte alors le vérin coulissant librement sur la tige. Puis on solidarise le vérin et la tige. Le vérin applique alors la 2^{ième} phase de fonçage de 250 mm grâce la tige fixé sur ce dernier. L'ensemble pieu - vérin - tige descend, de nouveau, de 250 mm. Le pieu est alors foncé à 1g sur une hauteur de 500 mm.

Cette opération est répétée pour l'ensemble des pieux.

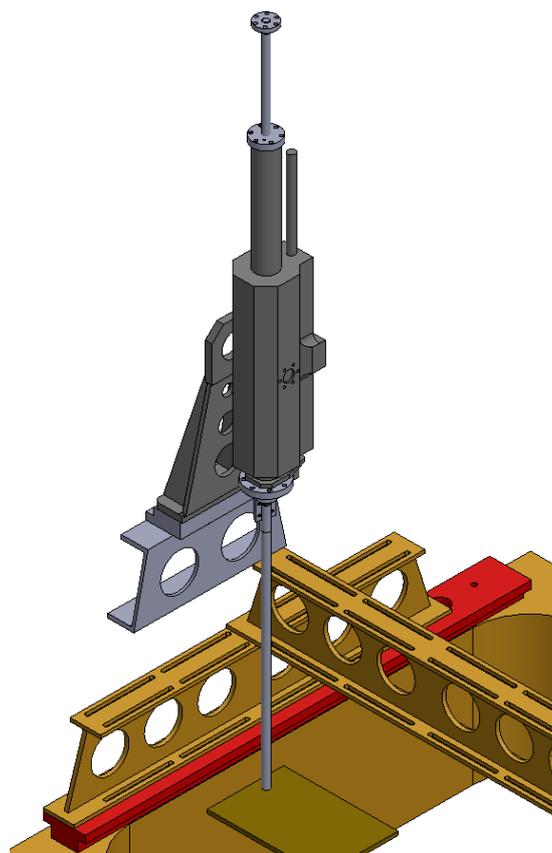


Figure 8. Représentation schématique du pré-fonçage du pieu à 1g.

3.1.2 Phase de préconditionnement du massif

Avant le chargement des pieux, le massif de sable subit un processus de stabilisation en centrifugeuse. Ceci consiste à soumettre le massif à l'accélération centrifuge choisie pour les essais, en deux ou trois cycles de montée à 23g, le maintenir sous cette accélération pendant quelques minutes (minimum 5') avant de redescendre à 1g.

Cette procédure optimise la stabilité du réarrangement des grains de sable soumis à l'accélération centrifuge et gomme les imperfections préparatoires de la phase de pluviation.

Lors de cette phase, le pieu n'est pas solidarisé au dispositif de chargement, ce qui permet de quantifier, pendant la montée en accélération, par palier de 5g et à g constant, l'équivalent de force générée par le poids de l'équipage mobile (XXX grammes à 1g) qui assurera la liaison entre le dispositif de chargement et le pieu fiché dans le sol. Cette information est directement donnée par le capteur F34.

Pour l'essai, quand le pieu sera définitivement solidarisé au dispositif de chargement, le principe de la correction consiste à activer le servo-vérin manuellement de façon à garder la même valeur de poids propre de l'équipage mobile, équivalente à chaque palier (Tableau IV). Les efforts parasites au cours de la montée en accélération sont alors corrigés et l'on garantit une non-sollicitation du pieu (ou a minima) avant d'appliquer le chargement lui-même.

Tableau IV. Valeurs de corrections d'effort pour chaque palier.

Niveau de g	Correction en N
5	-X
10	- X ≤ ≤ -X
15	- X ≤ ≤ -X
20	- X ≤ ≤ -X
23	- X ≤ ≤ -X

La phase de conditionnement est pratiquée pour chaque conteneur, vérification oblige, et la procédure de correction est conduite identiquement pour chaque essai.

3.1.3 Fonçage à 23g

Le fonçage en vol consiste simplement à enfoncer le pieu à vitesse constante 0,1 mm/s sur 60 mm, soit pendant 10 min. On rappelle que le pieu de 590 mm de long avec une fiche de 560 mm avait été pré-foncé à 1g sur une hauteur de 500 mm.

3.1.4 Chargement

3.1.4.1 Chargement monotone

Des essais préliminaires monotones sont nécessaires pour déterminer les capacités portantes statiques des pieux en compression et en traction : Q_{rc} et Q_{rt} . Ces essais de chargement monotone sont menés jusqu'à la rupture, à une vitesse de chargement prédéfinie de 1mm/minute (pilotage en déplacement du vérin).

3.1.4.2 Chargement cyclique

Les essais statiques conduisent au choix des paramètres des séquences cycliques (valeurs d'offset et d'amplitude), valeurs exprimées en pourcentage des valeurs maxima Q_{rc} et Q_{rt} .

Hormis la montée en accélération qui se fait en asservissement en déplacement, dès que l'accélération est constante (23g), le mode d'asservissement du vérin est basculé en force pour assurer les essais cycliques.

Le principe d'un essai cyclique est donné par la Figure 9 où on distingue deux phases :

- une rampe linéaire à la vitesse de 40 N/s (correspondant à 21,1 kN/s à l'échelle du prototype) jusqu'à l'atteinte de la valeur moyenne cyclique Q_m . Cette vitesse est choisie parce qu'elle correspond à la même vitesse, en terme d'accroissement d'effort, que celle imposée lors d'un essai statique (1mm/minute). De plus, ce choix de vitesse est suffisamment faible pour ne pas induire d'effet dynamique sur le pieu ;
- une variation sinusoïdale de l'effort à une fréquence de 0,1 Hz. L'effort oscille entre deux valeurs, maximale Q_{max} et minimale Q_{min} , qui définissent l'amplitude. Ces limites supérieures et inférieures correspondent à un certain ratio des valeurs de résistances statiques obtenues lors des essais monotones. Le nombre de cycles est imposé au début de l'essai mais peut être accru si la durée de la séquence initiale s'avère non suffisante.

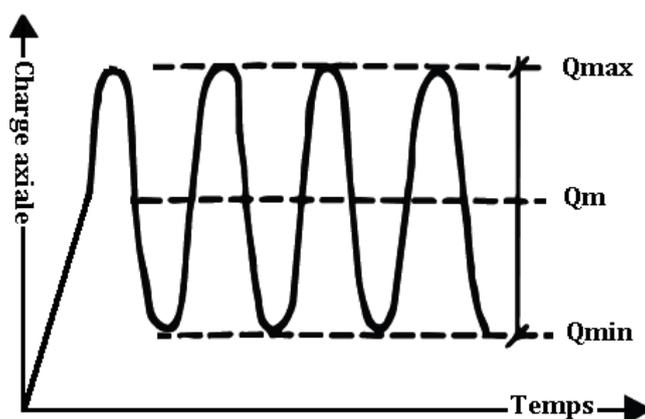


Figure 9. Principe d'un essai de chargement cyclique.

En règle générale, un essai cyclique sera caractérisé par sa valeur moyenne Q_m , sa $\frac{1}{2}$ amplitude Q_c , sa fréquence f , et le nombre de cycles réalisés en terme de pourcentage de la valeur de Q_{rc} .

Pour les essais cycliques, le critère de rupture équivaut à un déplacement en tête du pieu de 10% du diamètre du fût (1,8mm en valeur modèle). Au cas où la séquence cyclique ne permet pas d'atteindre cette valeur, on propose une méthode d'évaluation (extrapolation linéaire ou puissance) pour estimer le nombre de cycles correspondant au critère des 10%.

On rappelle que pour les essais monotones, le critère de rupture est la valeur de l'effort, atteinte généralement pour un déplacement toujours inférieur à 10% ; si le point d'inflexion ou changement de pentes, se trouve au-delà des 10%, c'est ce critère qui fait référence.

3.2 Programme expérimental

Des essais préliminaires ont été effectués en centrifugeuse lors de la semaine 27 (du 01/07/2013 au 05/07/2013). Cette semaine a permis d'étalonner les différents capteurs du servo-vérin avec la chaîne MOOG, de régler le PID du servo vérin et de valider les nouveaux dispositifs expérimentaux de fonçage.

Trois semaines d'essais sont programmées jusqu'à la fin de l'année (semaines 37, 41 et 47). La première semaine sera consacrée aux essais monotones en traction et en compression sur les deux types de pieux (100 et 200 μ m) foncés. Une fois ces essais réalisées et comparés aux données obtenues précédemment sur les pieux moulés, le programme des deux autres semaines pourra être établi. Ces deux semaines d'essais auront pour objectif principal d'étudier les effets de l'histoire du chargement. Des combinaisons de cycles d'amplitudes variées dans des ordres différents seront appliquées aux pieux.

4 Synthèse des essais

5 Analyse des résultats

Références

- Gurefrech A. et Rault G. (2012). Pieux sous sollicitations cycliques axiales dans un massif de sable - essais en centrifugeuse. 60pp
- Lings ML and Dietz MS. (2005). The peak strength of sand-steel interfaces and the role of dilation. *Soils and Foundations*, 45(6): pp.1–14
- Poulos H.G. (1981). Cyclic axial response of single piles. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 107(GT1) : pp.41-58
- Sobesol (2007). Procès verbal des essais en laboratoire sur le sable de Fontainebleau. 10 pp.