



ESSAIS DE PIEUX EN CENTRIFUGEUSE

D. LEVACHER ⁽¹⁾, J. GARNIER ⁽²⁾, J.C.A CINTRA ⁽³⁾.

(1) Maître de Conférences, Laboratoire Mécanique des Fluides -
UNIVERSITE DU HAVRE

(2) Ingénieur, Docteur, LCPC - NANTES

(3) Professeur assistant, Université de San Carlos (Brésil)

ABSTRACT

The use of centrifuge to analyse the pile behaviour under axial or lateral loadings is very useful for civil and coastal engineering. An important research program on pile behaviour is carried out at L.C.P.C. centrifuge center. Mainly, studies relate to single piles and elementary pile groups. Studied areas are concerning : load-displacement relationships, p-y curves analysis, rigid or flexible type of piles behaviour, group efficiency, special test monitoring, static or cyclic loads, design computer codes... In this paper, only some results are presented. They concern directly elementary group of piles for different configurations submitted to lateral loadings. Also first axial loading test results are given.

1. INTRODUCTION

L'utilisation de fondations profondes ne cesse de croître afin de répondre aux besoins de construction. L'urbanisation des districts des villes impose de construire sur des sites sensibles (marécages, déchetteries...), l'aménagement des ports et du littoral nécessite des ouvrages fondés sur pieux tout comme l'installation de plateformes pétrolières.

Dans la plupart des cas, les efforts appliqués au niveau des fondations sollicitent les pieux en groupe. Quelques ouvrages maritimes s'apparentent à un pieu isolé comme les pieux d'accostage ou d'amarrage, les ducs d'Albe...

L'étude du comportement du ou des pieux afin de définir ou valider des règles de calcul et des recommandations nécessite des essais de chargement sur site ou en laboratoire. Les essais sur site sont difficilement envisageables voire impossible à réaliser. Les essais de laboratoire à 1 g souffrent aussi de problèmes de similitude et l'extrapolation des résultats au pieu réel reste délicate.

Les essais en centrifugeuse offrent une nouvelle voie expérimentale aux géotechniciens. Le respect des conditions de similitude lors des essais permet la transposition des résultats, du pieu modèle au pieu réel ou prototype.

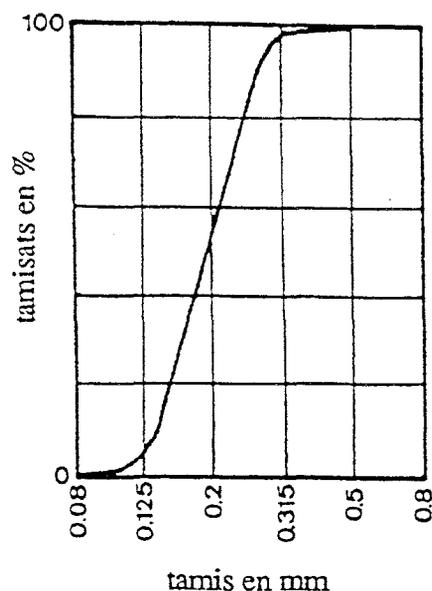
L'article rapporte quelques résultats d'essais récents dans différents cas d'utilisation et de sollicitation de pieux isolés ou non.

2. PHASE EXPERIMENTALE

Les essais ont été réalisés sur la centrifugeuse du LCPC de Nantes, dans le cadre de travaux de recherche menés en collaboration avec les Universités du Havre, de Nantes et de San Carlos. La capacité de cette centrifugeuse est de 200 tonnes x g ce qui la classe parmi les grandes centrifugeuses actuellement installées dans le monde.

Tous les pieux en groupe ou isolés ont été implantés dans des conteneurs rectangulaires identiques de dimensions 1,20x0,80m et 0,36m de haut, remplis de sable sec de Fontainebleau. Le remplissage se fait par pluviation à l'aide d'une trémie mobile. Ce procédé permet d'obtenir une densité initiale moyenne choisie. Pour l'ensemble des essais la valeur retenue du poids volumique est 16kN/m³.

Le sable de Fontainebleau est un sable fin, à granulométrie très serrée (voir figure 1). Il s'agit d'un sable communément utilisé dans les laboratoires de géotechnique. Les principales caractéristiques physiques sont présentées sur la figure 1.



γ_d min. (kN/m ³)	13.9
γ_d max. (kN/m ³)	16.6
d ₆₀ /d ₁₀	1.5
d ₅₀	0.17

Fig. 1: Le sable de Fontainebleau et ses caractéristiques

Le pieu modèle est un pieu tubulaire fermé à la base, de diamètre 8mm, long de 300mm dont la fiche est de 200mm, voir figure 2. Seules deux mises en oeuvre sont utilisées:

- pour les pieux dit "forés": pluviation du sable autour des pieux.
- pour les pieux dit "battus": battage à l'g.

Les configurations retenues dans le cas de l'étude des groupes sont les pieux en ligne ou en rangées pour les couples et en configuration triangulaire pour les triplets. Les essais de chargement sont tous réalisés à un niveau d'accélération de 40g, de manière à simuler le cas de pieux prototypes de diamètre 320mm fichés de 8 mètres (figure 2). Ils sont tous doublés afin de vérifier la reproductibilité des essais. Par ailleurs dans le cas des groupes, un essai sur pieu isolé est effectué à titre de référence.

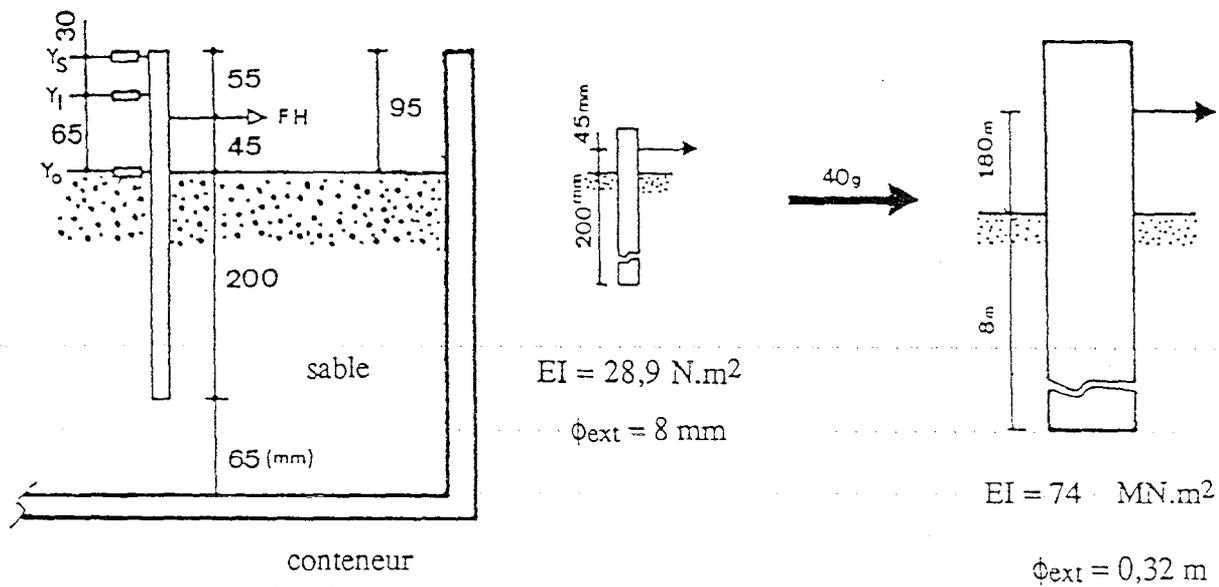


Fig. 2: Positionnement d'un pieu. Modèle et prototype

Le chargement s'effectue par palier aussi bien en latéral qu'en axial. Ce processus s'apparente à la procédure de l'essai classique de chargement axial. Les valeurs des paliers de chargement ont été définies à partir d'un essai sur pieu mené jusqu'à la rupture.

3. PIEUX ISOLES CHARGES LATÉRALEMENT

Les essais entrepris sur des pieux isolés dans du sable ont permis d'étudier différents aspects du comportement :

- chargement - déchargement d'un pieu chargé latéralement, non-linéarité de la réponse du pieu en effort-déplacement illustrée sur la figure 3.
- essai de rupture d'un pieu, voir figure 3, (définition des paliers de chargement pour les essais).

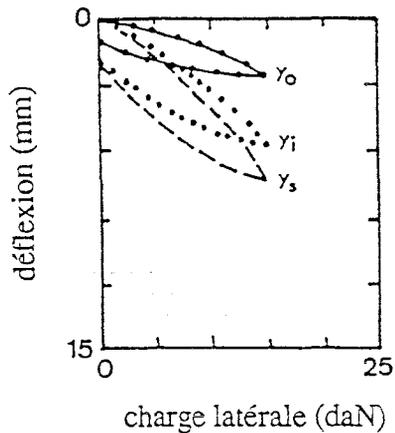
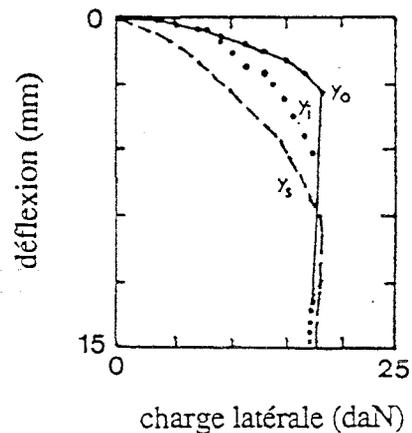
a) Chargement- déchargementb) Rupture d'un pieu

Fig. 3 : Relation effort-déplacement (données modèle)

y_0 déplacement à la surface du sol

y_1 déplacement à 65mm de la surface du sol

y_2 déplacement à 95mm de la surface du sol

Des comparaisons avec des codes de calcul peuvent être entreprises. L'utilisation du code de PILATE - LCPC a permis de montrer une bonne corrélation entre les courbes de chargement calculée et mesurée (réf 1, 2 et 5). L'étude expérimentale des courbes p-y peut être faite lorsque les pieux sont équipés de jauges à différents niveaux (réf.3).

4. COUPLES DE PIEUX CHARGES LATÉRALEMENT

Le couple de pieux reste une configuration simple mais constitue l'élément de base d'un groupe. Les paramètres géométriques le plus souvent retenus sont l'espacement (s) de centre à centre en fonction du diamètre du pieu (B) et l'orientation β de la charge appliquée en fonction de la ligne que forme les deux pieux (rangée ou ligne).

Différents tests ont été effectués sur des pieux en ligne et en rangée. Comme les pieux n'étaient pas équipés de jauges de déformation, l'analyse a tout d'abord porté sur l'étude des courbes effort-déplacement en tête, dans le but d'apprécier l'importance de l'interaction. Par exemple, pour un déplacement donné en tête la variation, en fonction de l'espacement, de la charge latérale reprise par pieu traduit bien ce phénomène d'interaction. La figure 4, montre cette variation pour une rangée et une ligne de pieux dont les espacements varient de 1 à 12B et pour un déplacement en tête égal à 12,5% du diamètre B.

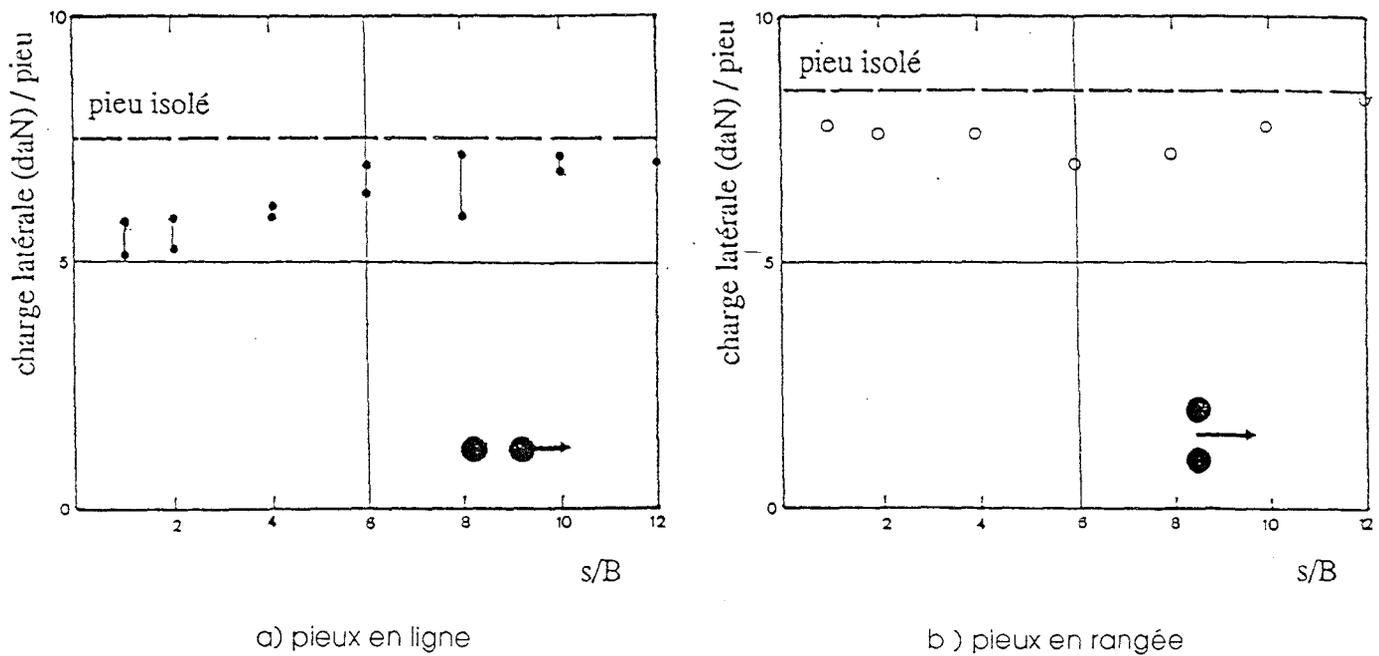


Fig. 4: Effet de groupe

5. PIEUX EN TRIPLETS CHARGES LATÉRALEMENT

Des pieux en configuration triangulaire équilatérale ont été testés, pour des espacements variant de 1 à 12B. La variation de la charge reprise par pieu, en fonction des espacements, est donnée à la figure 5.

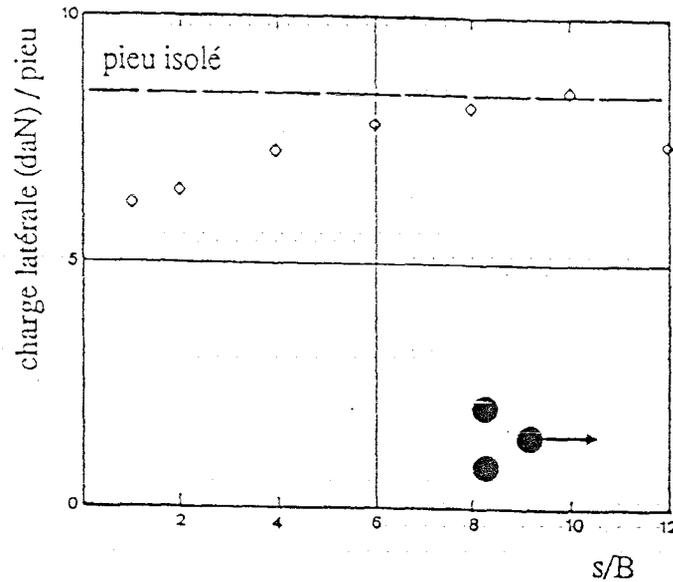


Fig. 5: Effet de groupe - cas de pieux en triplets.

Un triplet représente une configuration simple de groupe de pieux. Cependant, cet arrangement est déjà une combinaison d'un couple (rangée) et d'un pieu. Hormis l'interaction en fonction de l'espacement pour les cas présentés (figure 4 et 5), il est difficile d'analyser réellement l'effet de groupe global ou l'efficacité des groupes.

6. EFFICACITE DES GROUPES

Il s'agit de comparer la charge moyenne que supporte chaque pieu du groupe (H_g/N) et la charge d'un pieu isolé H_i et ce, pour une même déflexion y . L'efficacité E_g d'un groupe est ainsi définie par:

$$E_g = (H_g / H_i \cdot N) \cdot 100 \quad (1)$$

Si E_g est égale à 100%, il n'y a pas d'interaction entre les pieux. Ils se comportent comme des pieux isolés.

La figure 6 montre l'évolution de E_g en fonction de l'espacement. L'interaction dans le cas d'un triplet s'intercale entre les cas de la ligne et de la rangée.

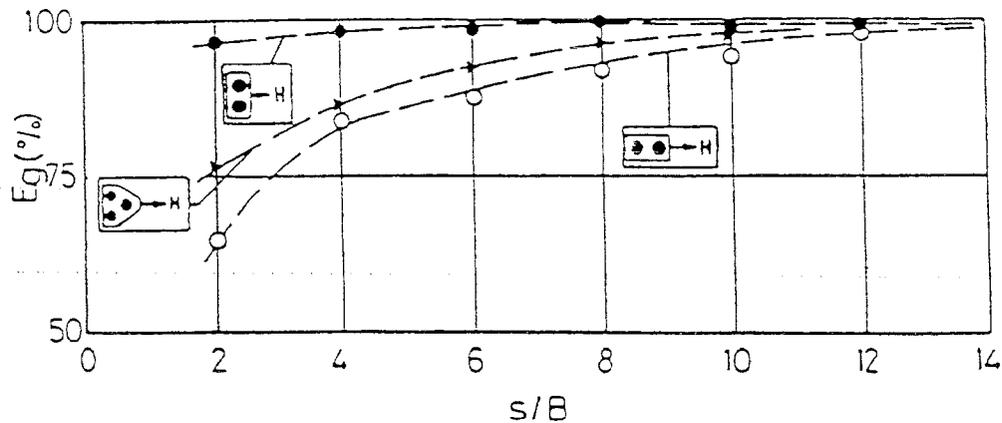


Fig. 6: Efficacité de groupes élémentaires de pieux

7. PIEUX CHARGES AXIALEMENT

De premiers essais sur des pieux-modèles battus à 1g ont été réalisés en centrifugeuse (réf 4). Ils constituent une expérience importante dans la mesure où cette approche pourrait aussi remplacer les essais en vraie grandeur et fournir des renseignements sur la capacité portante de pieux. Les valeurs ainsi obtenues peuvent être comparées à celles données par diverses formules usuelles de capacité portante.

Le battage s'effectue à 1g ce qui n'est pas représentatif d'un battage réel car l'état de contraintes dans le sol est différent. Il faudrait sans doute à l'avenir effectuer le battage au niveau d'accélération requis c'est-à-dire ici à 40g. Des études ont déjà été engagées concernant la faisabilité du battage en cours de centrifugation (coopération LCPC - ECN - Université du Havre).

La pertinence de la modélisation peut être examinée par le "modelling of models". On étudie alors un même pieu prototype à l'aide de plusieurs modèles correspondant à des échelles de réduction et donc des niveaux d'accélération différents. Le tableau I donne les caractéristiques des différents modèles testés (échelles de réduction variant de 1/53 à 1/23) simulant tous un pieu prototype de 320mm de diamètre et 4m de fiche.

N° d'essai	B (mm)	Fiche (mm)	Niveau de g
B6	6	75	53,33
B6B	6	75	53,33
B8B	8	100	40
B8C	8	100	40
B10	10	125	32
B10B	10	125	32
B12	12	150	26,66
B14	14	175	22,85

TABLEAU I: Effet d'échelle: Paramètres utilisés.

La figure 7 donne pour le pieu prototype l'évolution de la capacité portante en fonction du déplacement. Dans le domaine de petits déplacements (cas des pieux en service), les courbes sont similaires et indiquent donc l'absence d'effet d'échelle, justifiant ainsi le recours aux modèles réduits centrifugés.

La capacité portante, pour deux pieux de différents diamètres, évaluée à l'aide de diverses formules ou méthodes a été comparée aux valeurs déduites des essais sur modèles centrifugés. Les résultats sont récapitulés dans le tableau II. On note une bonne concordance entre les prévisions théoriques et les valeurs expérimentales.

Sous charges transversales, l'interaction entre pieux apparaît pour des petits espacements. Dans le cas des pieux en ligne ou en triplet elle est plus importante. Pour les pieux les plus serrés ($s/B=2$), la capacité de mobiliser une réaction latérale est réduite de 30%.

L'étude de capacité portante de pieux peut s'envisager à l'aide de modèles centrifugés. Bien que les conditions de similitude n'aient pas toujours été totalement respectées (battage des pieux à 1g), l'étude expérimentale a montré l'absence d'effet d'échelle (modelling of models). Les forces portantes observées concordent assez bien avec les prévisions de plusieurs méthodes de calcul usuelles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) LEVACHER D., 1992, "Laterally loaded pile groups in sands, " Piling Europe Conference, Londres, avril 1992.
- (2) CINTRA J. C. A., 1989, "Modelos de grupos de estacas en areia submetidas a carregamento lateral en centrufuga", Rapport LCPC, 32p.
- (3) BOUAFIA A., GARNIER J et LEVACHER D., 1991, "Comportement d'un pieu isolé chargé latéralement dans le sable", Colloque Fondations Profondes, Paris, pp.129-136.
- (4) LEVACHER D., 1992, "Modélisation numérique et physique du battage - simulation en centrifugeuse du comportement des pieux", thèse de Doctorat d'Etat, ECN, Nantes, 223p.
- (5) MEZAZIGH S., GARNIER J., LEVACHER D., 1992, "Etude sur modèles centrifugés de la résistance latérale des pieux dans le sable", Journées Génie Côtier-Génie Civil, Février 1992, Nantes.