

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

ETUDE EN MODELE REDUIT HYDRAULIQUE DU POUVOIR PORTANT D'UN GROUPE DE PIEUX

BEARING CAPACITY OF GROUP OF PILES IN SMALL SCALE

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ МОДЕЛЬНОГО КУСТА СВАЙ

Y. TCHENG et M. PANET, Docteurs ès Sciences, Ingénieur en Chef et Ingénieur du C.E.B.T.P. Paris (France)

RESUME

La similitude sur modèle réduit permet d'étudier la limite ultime de la résistance au poinçonnement des sols par une fondation ; elle devient la méthode d'investigation la plus commode quand la fondation est constituée d'un ensemble d'éléments porteurs.

Les essais de fondations sur pieu isolé dans les matériaux pulvérulents ont montré que la similitude par "gradient hydraulique" donnait de bons résultats ; nous en présentons à présent une application à l'étude sur modèle réduit de la force portante d'un groupe de pieux dans le sable de Loire.

INTRODUCTION

Cette communication présente les premiers résultats des essais de fondations profondes sur groupe de pieux. Elle constitue la suite des travaux antérieurs de M. PANET qui ont déjà fait l'objet d'une publication (1).

L'essai consiste en un poinçonnement continu, à vitesse constante, d'un massif de sable de Loire à surface libre horizontale ; on mesure les variations de la résistance de pointe des pieux en fonction de la profondeur d'enfoncement. Les résultats obtenus à l'aide d'un pieu isolé ont confirmé l'intérêt de la méthode du gradient hydraulique : son application a été étendue aux groupes de pieux.

Après avoir rappelé quelques résultats, on présente les premiers essais de pénétration sur modèle d'un groupe de 5 pieux. On mesure les efforts appliqués à chaque pieu du groupe afin de mettre en évidence l'effet provoqué par le serrage du sol dans l'ensemble de la fondation. Pour préciser la zone d'influence de chaque pieu du groupe, on a fait varier l'espacement des pieux.

RESULTATS DES ESSAIS DE POINÇONNEMENT

Nous utilisons un sable de Loire calibré entre 0,2 mm et 5 mm.

Les essais de pénétration d'un pieu isolé sont rappelés sur la figure 1 ; la pression de pointe exprimée en MN/m² est portée en abscisse, et l'enfoncement est appliqué lentement pendant l'essai, afin qu'aucun phénomène dynamique ne perturbe les mesures. L'échelle de ces essais est assez importante, ainsi que la perte de charge Δp appliquée au sol.

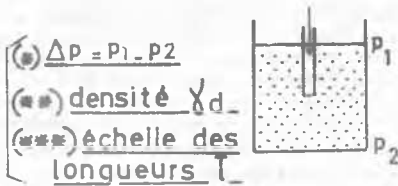
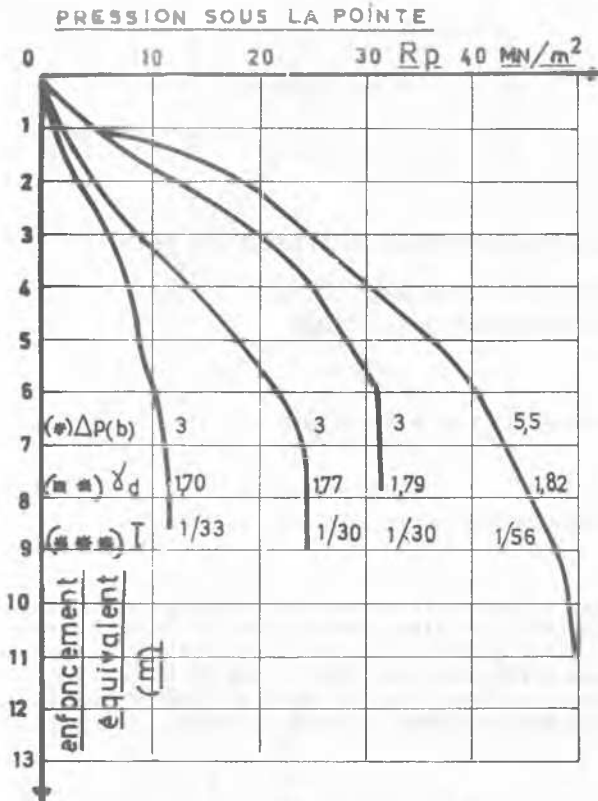
Exécutées à l'aide d'un pieu de section circulaire de 20 mm de diamètre, dans un sable de Loire à diverses compacités ($1,70 < \gamma_d < 1,82$) ces expériences ont reproduit fidèlement les phénomènes déjà observés auparavant dans un grand modèle. La résistance de pointe augmente progressivement, puis elle se stabilise à une valeur qui dépend principalement de la compacité du matériau ; cette valeur limite est atteinte à une profondeur généralement d'autant plus grande que le diamètre de la structure simulée par le modèle est élevé.

La figure 2 indique les variations de la pression limite en fonction de la densité du sol ; elle confirme la validité de la similitude dans le sable de Loire en montrant la coïncidence entre les résultats du modèle et ceux d'essais en vraie grandeur.

Les résultats obtenus lors de l'étude préliminaire de la simulation d'un pieu isolé par la méthode du gradient hydraulique, permettent d'envisager l'extension de cette technique à des systèmes de fondations complexes. Nous avons considéré une fondation profonde constituée par un groupe de cinq pieux. Il ne serait guère possible d'étudier le comportement de cette structure en vraie grandeur, car les dispositifs de mise en charge seraient hors de proportion avec ceux que l'on utilise habituellement pour réaliser de telles expériences : dès lors le modèle s'impose.

Le graphique dont le plan est également porté sur la figure 3, représente les résultats des essais de pénétration du groupe. L'échelle des longueurs est de 1/20 et la densité du sable de Loire est de 1,7.

.../..

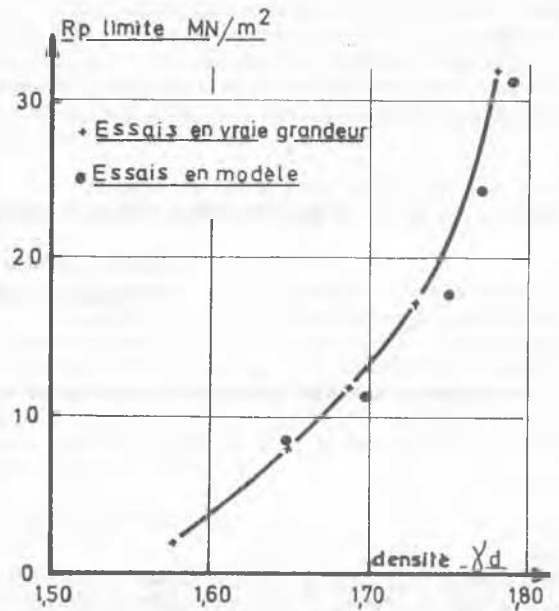


**Fig 1. Essais de pénétration-
pieu ϕ 0,02 m Sable de Loire**

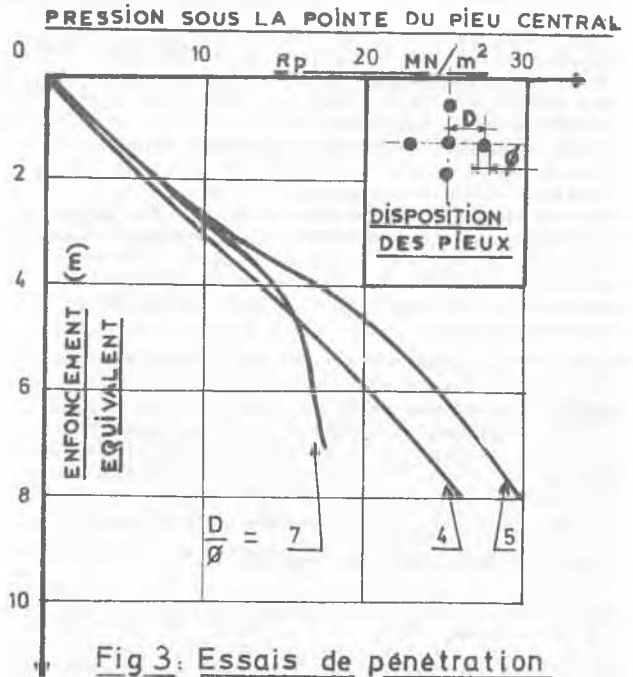
Le rapport de la distance entre axes des pieux, D , au diamètre de ceux-ci prend successivement les valeurs de 4, 5 et de 7.

La résistance de pointe de chaque pieu est pratiquement identique : aussi avons-nous indiqué sur la figure 3, la courbe de pénétration relative au pieu central.

On constate que, pour la plus grande valeur de D/ϕ , la résistance de pointe de chaque pieu présente un palier comme dans le cas d'un pieu isolé. Pour les deux autres valeurs de D/ϕ , la résistance de pointe continue d'augmenter, car le serrage du terrain entre les pieux et au niveau inférieur de la fondation est beaucoup plus important : la résistance de pointe correspond à l'enfoncement maximum atteint 30 MN/m^2 .



**Fig 2. Résistance de pointe limite.
Sable de Loire**



**Fig 3. Essais de pénétration
groupe de 5 pieux ϕ 20 mm
sable de Loire $\gamma_d = 1,70$
Echelle 1/20**

CONCLUSIONS

1) Les essais d'un groupe de 5 pieux montrent que l'espacement des pieux exerce une influence prépondérante sur la résistance de pointe de chaque élément.

Dans un sable de Loire de densité sèche 1,70, l'espacement minimal à partir duquel il n'y a plus interférence entre 2 pieux voisins, égale environ 7 diamètres ; pour les espacements inférieurs à cette valeur, le groupe se comporte comme une seule pile de diamètre supérieur.

2) Il semble que le pieu central se comporte pratiquement comme les pieux périphériques et que les pieux d'un même groupe pris isolément ont une résistance de pointe plus élevée que celle du même pieu seul, du moins pour le cas où l'entre axes ne dépasse pas 7 fois le diamètre.

ANNEXE

1) DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE -

La cellule hydraulique est formée d'un réservoir de section circulaire de 58 cm de diamètre intérieur et d'un mètre de hauteur (fig. 4). 16 pieux sont fixés sur le réservoir ; leur espacement vertical le long d'une génératrice est de 5 cm. Les conduites d'arrivée et d'évacuation de l'eau sont fixées sur deux viroles attachées aux deux extrémités du réservoir.

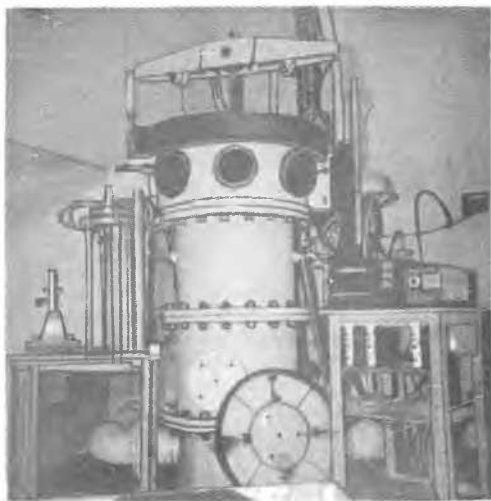


FIG 4 : APPAREILLAGE DE MESURE

Le circuit hydraulique permet d'obtenir une gamme d'échelle de longueur importante, de 1 à 1/100, par un réglage précis de la perte de charge dans le sable. Le déplacement de la structure est assuré par 2 vérins hydrauliques verticaux transmettant à la fondation l'effort d'enfoncement ou de dégagement par l'intermédiaire d'un longeron transversal. La synchronisation du mouvement des vérins est assurée par deux électro-vannes. La pression dans les vérins est réglable et on fait croître progressivement l'effort pendant l'enfoncement ; ce dispositif hydraulique permet de réaliser des essais quasi-statiques.

Le groupe de pieux est placé sur la photo à gauche de la cellule de mesure ; les pieux de 20 mm de diamètre sont solidarisés par un massif rigide qui permet de disposer les pieux de différentes

façons et à des espacements variables.

Les pieux ont 20 ou 40 mm de diamètre ; ils sont en acier lisse et sont équipés de dynamomètres mesurant un effort maximal de 1,5 t. Chaque pieu est alimenté en eau qui percole à travers la pointe du pieu et dont la pression est celle qui règne dans la cellule hydraulique au niveau de la base de la fondation.

2) CALCUL DE L'ECHELLE DES LONGUEURS

Nous avons adopté les symboles suivants :

γ Masse volumique humide ; γ_d Masse volumique sèche
 t Temps ; σ Contrainte
 G Champ gravitaire dans le modèle ; l Longueur
 p Pression hydraulique ; ϵ Déformation
 g Pesanteur

L'échelle d'une grandeur est représentée en sur-lignant le symbole.

- Conservation de la loi rhéologique du sol :

$$(1) \bar{\gamma} = 1, (2) \bar{\sigma} = 1, (3) \bar{\epsilon} = 1, (4) \bar{t} = 1$$

- Equation aux dimensions : (5) $\bar{\sigma} = \bar{\gamma} \cdot \bar{g} \cdot \bar{t}$

- Condition de similitude : (1), (2), (5)

$$\text{impliquent } \bar{g} = \frac{1}{\bar{t}^2} \quad (6)$$

La percolation d'un liquide sous pression dans le sol réalise (6).

La résultante des forces appliquées au sol contenu dans un domaine (D) limité par la surface (S) de normale extérieure n , est :

$$(7) F_e = \int_S \sigma \cdot n \, ds + \int_D \gamma \cdot g \, dv$$

$$(8) \sigma = \sigma' - p$$

$$d'où (9) F_e = \int_S \sigma' \cdot n \, ds + \int_D (\gamma g - \text{grad } p) \, dv$$

$$\text{on pose : } (10) \int_S \gamma_d G = \gamma g - \text{grad } p$$

$$d'où (11) F_e = \int_S \sigma' \cdot n \, ds + \int_D \gamma_d G \, dv$$

(11) montre que le sol, soumis à la percolation du liquide sous pression, subit les mêmes contraintes intergranulaires σ' , qu'un matériau sec placé dans le champ gravitaire G , d'où l'échelle des longueurs:

$$(12) \bar{l} = \frac{g}{G} = \frac{\gamma_d g}{\gamma g - \text{grad } p} \quad \text{avec } \text{grad } p = - \frac{\Delta p}{\Delta H}$$

Δp étant la perte de charge entre deux points distants de ΔH .

BIBLIOGRAPHIE :

- PANET M. (1972) Etude des Fondations sur sable en modèle réduit - Annales I.T.B.T.P. Paris mars 1972 - n° 291
- TCHENG Y. (1966) Fondations profondes en milieu pulvérulent à diverses compacités Annales I.T.B.T.P. n° 219-220 mars avril 1966
- ZELIKSON A. (1967) Représentation de la pesanteur par gradient dans les modèles réduits en géotechnique - Annales I.T.B.T.P. n° 239 novembre 1967.