

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.

Pieux et groupes de pieux en terrain homogène

Piles and Groups of Piles in Homogeneous Ground

H. CAMBEFORT, *Professeur de Mécanique des Sols, Directeur Technique de Solétanche, Paris, France*

SOMMAIRE

L'interprétation de divers essais de charge de pieux et de groupes comportant deux ou trois pieux nous conduit à penser qu'avant le poinçonnement du sol il existe, en terrain homogène, un frottement latéral qui est fonction linéaire de la profondeur, sur une hauteur h_1 comptée à partir de la surface du sol, et un frottement fonction linéaire des enfoncements du pieu sur la hauteur $h-h_1$, h étant la longueur du pieu. h_1 , nul au début du chargement, augmente avec la charge pour atteindre h au moment du poinçonnement. Pendant cette progression de h_1 , le sol au contact du pieu s'enfonce moins que le pieu. Ces deux enfoncements sont calculables. L'interprétation de plusieurs essais confirme cette théorie.

SUMMARY

The interpretation of various loading tests on piles and groups of two or three piles carried out in homogeneous ground leads to the conclusion that before failure of the foundation soils, the following forces exist: skin friction which varies linearly with height h_1 computed from the ground surface; a friction, which is a linear function of the pile penetration, over a height $h-h_1$, h being the length of the pile. h_1 being zero at the beginning of the loading increases as the load increases to reach h at the moment of failure. As h_1 increases, the ground surrounding the pile settles less than the pile. These two settlements can be calculated. The interpretation of several tests has confirmed this theory.

LE BUT DE CETTE COMMUNICATION est de montrer qu'en faisant des hypothèses simples basées sur le résultat des mesures faites lors des essais de pieux, on peut déterminer la courbe donnant les enfoncements en fonction des charges, pour des pieux fichés dans des sols homogènes. Cette détermination nécessite la connaissance d'un certain nombre de coefficients dépendant de la nature du sol et de l'état de surface du pieu. Ces coefficients sont évidemment fonction des caractéristiques du sol, mais comme cette fonction est encore inconnue, on supposera qu'un essai *in situ* permet de les déterminer. Ceci permet par exemple de remplacer déjà l'essai d'un pieu de gros diamètre par celui d'un pieu de diamètre plus petit.

plomb (points noirs). Cette radiographie au cobalt 60 a été faite par Robinsky et Morrison (1964).

Fig. 2. Les efforts mesurés à la pointe sont une fonction linéaire des enfoncements, tant que le poinçonnement n'est pas atteint. Pour des pieux de différents diamètres arrêtés dans le même horizon, il semble que l'on ait:

$$n_h/D_h = q + R(y_h/D_h^2)$$

q et R étant deux coefficients; $n_h = 4P_h/\pi D_h^2$ où P_h = charge à la profondeur h ; D_h = diamètre; y_h = enfoncements. Cette relation provenant de l'essai de seulement trois pieux, dont deux avec faible réaction à la pointe, il paraît indispensable de la préciser à partir de nouveaux essais.

Fig. 3. Avant d'atteindre une valeur constante, le frottement latéral F est une fonction linéaire des enfoncements y . Nous poserons: $F = A + By$ (A et B étant deux coefficients). Pour le frottement latéral constant on conservera l'hypothèse classique (x étant la profondeur): $F = g + fx$ (g et f étant deux coefficients). $f = 0$ correspond aux sols cohérents et $g = 0$ aux sols pulvérulents. Il convient de

RÉSULTATS, CARACTERISTIQUES DES ESSAIS DE PIEUX ET HYPOTHÈSES RETENUES

Les principaux résultats sont résumés par les figures ci-contre.

Fig. 1. Déformations du sol obtenues au laboratoire en enfonçant un pieu dans du sable contenant des billes de

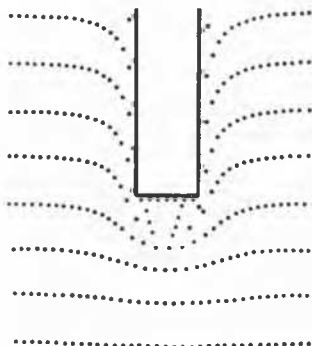


FIG. 1. Déformations d'un sable lâche produites par l'enfoncement d'un pieu modèle réduit.

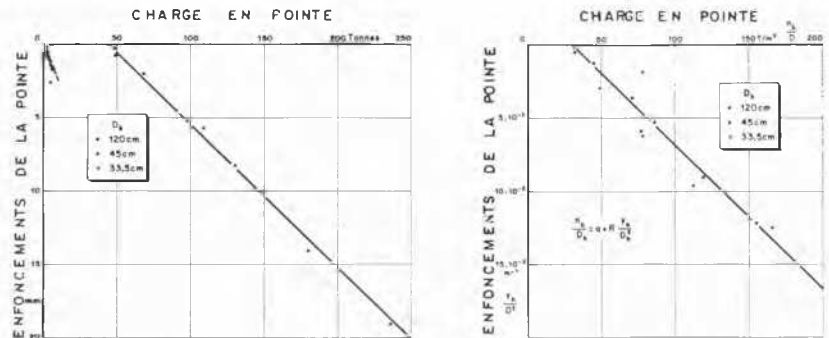


FIG. 2. Essais de Vitry. Résistance de pointe de pieux de différents diamètres (voir figs. 10 et 11).

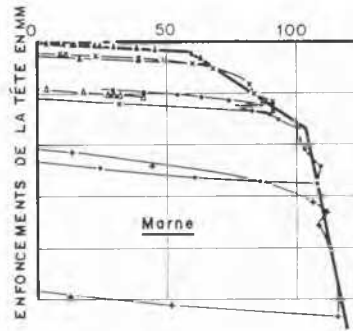
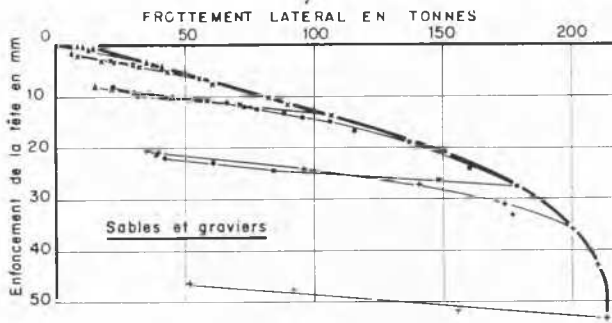


FIG. 3. Evolution du frottement latéral en fonction des enfoncements dans les sables et graviers et dans les marnes.

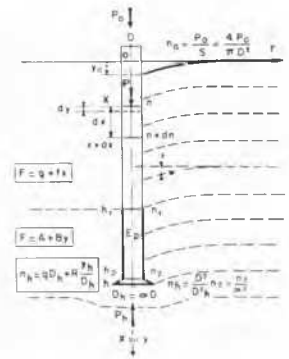


FIG. 4. Notations utilisées.

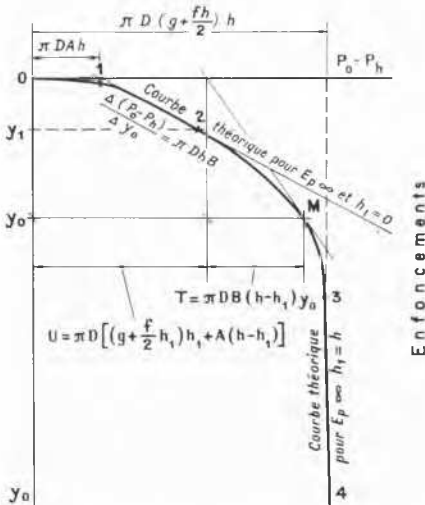


FIG. 5. Courbe théorique du frottement latéral en fonction des enfoncements avec les relations permettant de calculer A , B , h_1 , g et f .

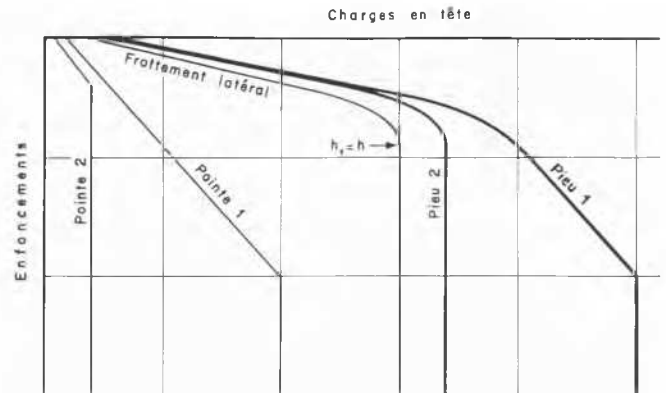


FIG. 6. Formes types des enfoncements d'un pieu en fonction des charges. La différence provient uniquement de la résistance de pointe.

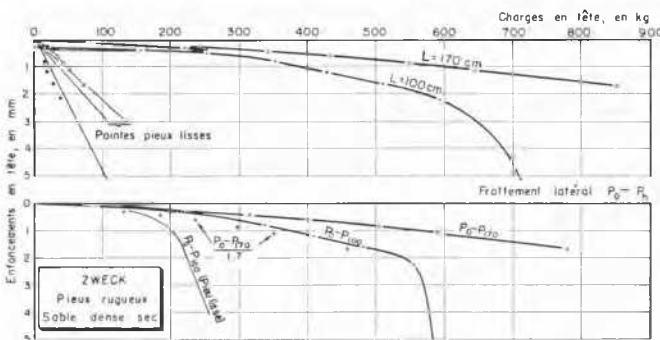


FIG. 7. Essais de laboratoire de Zweck (1953-54) avec des pieux de 61 mm de diamètre dans du sable damé ($n = 36\%$)—pieux lisses et rugueux.

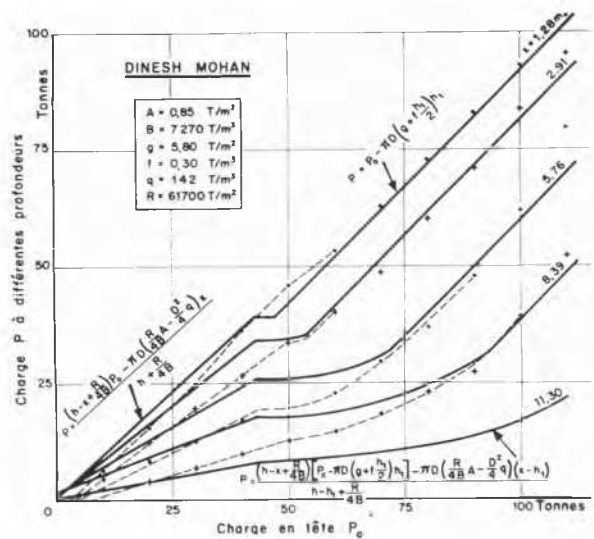


FIG. 8. Essais de Dinesh Mohan (1963). Pieu à tube battu de 33 cm de diamètre et de 12 m de long ($E_p = 280\,000$ kg/sq.cm.). Sable homogène sauf à la pointe. Efforts à différentes profondeurs.

remarquer que pour les sables et graviers la constance du frottement ne s'observe que pour de très grands enfoncements, 40 mm environ. Avec les sols cohérents le phénomène est plus complexe. La droite à prendre en compte dépend de la valeur des enfoncements. Ce phénomène est à préciser par d'autres essais.

Fig. 4. Cette figure rappelle les notations qui ont été utilisées pour les calculs* ainsi qu'une hypothèse fondamentale, à savoir: de 0 à h_1 le frottement latéral unitaire

*Ces calculs ont fait l'objet d'une communication par l'auteur (Cambefort, 1954). Il convient toutefois de remplacer dans ces résultats Q par: $Q = qDh$. Cette nouvelle hypothèse résultant de l'interprétation d'essais ultérieurs à ce symposium.

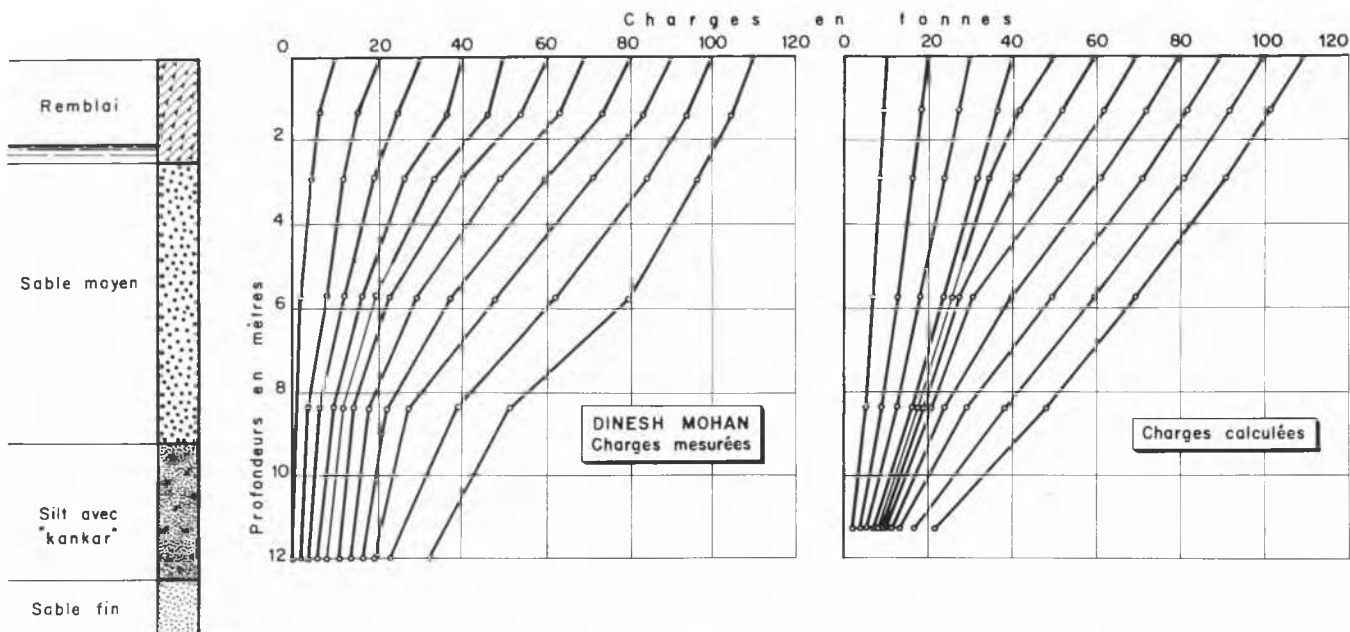


FIG. 9. Essais de Dinesh Mohan. Répartition des efforts en fonction de la profondeur et des charges appliquées.

constant est une fonction linéaire de la profondeur x ; de h_1 à h ce frottement est une fonction linéaire de l'enfoncement y du point considéré; au fur et à mesure de l'augmentation de la charge, h_1 passe de 0 à h ; la valeur de h_1 se calcule en écrivant que l'enfoncement y_1 à cette profondeur est une constante caractéristique du terrain et de l'état de surface du pieu.

APPLICATION À DES ESSAIS*

Fig. 7. On voit nettement l'influence de l'état de surface du pieu sur la valeur du frottement latéral, sauf pour les très faibles enfoncements.

Fig. 8. Comparaison des efforts, mesurés et calculés, aux profondeurs de 1,28 m, 2,91 m, 5,76 m et 8,39 m (à 11,30 m aucune mesure n'a été faite). Pour les valeurs de P_0 inférieures à 43 tonnes ($h_1 = 0$) les points expérimentaux s'alignent sur des droites parallèles aux droites théoriques.

*Seuls seront considérés ici les essais dans les sables. Ceux réalisés dans les sols cohérents ont déjà été décrits par l'auteur (Cambefort, 1954).

Les courbes de raccordement théorique et expérimentales ont pour $x = 5,76$ m et 8,39 m des allures analogues. Les droites théoriques finales, de pente égale à un, correspondent bien aux points expérimentaux.

Fig. 9. La comparaison des efforts calculés et mesurés n'est pas parfaite, mais l'allure du phénomène est la même, quoique les coefficients A , B , q , R et y_1 aient été relevés sur la courbe des enfoncements de la tête du pieu en fonction des charges.

Fig. 11. Les échelles adoptées pour ces graphiques auraient dû conduire à une courbe unique quel que soit le diamètre des pieux. C'est presque vrai pour le frottement latéral $P_0 - P_h$ si l'on excepte le pieu de 45 cm. On peut penser qu'à cet emplacement là le terrain n'est pas tout à fait le même qu'à côté, à moins que l'erreur commise sur l'évaluation des diamètres n'explique toutes les divergences.

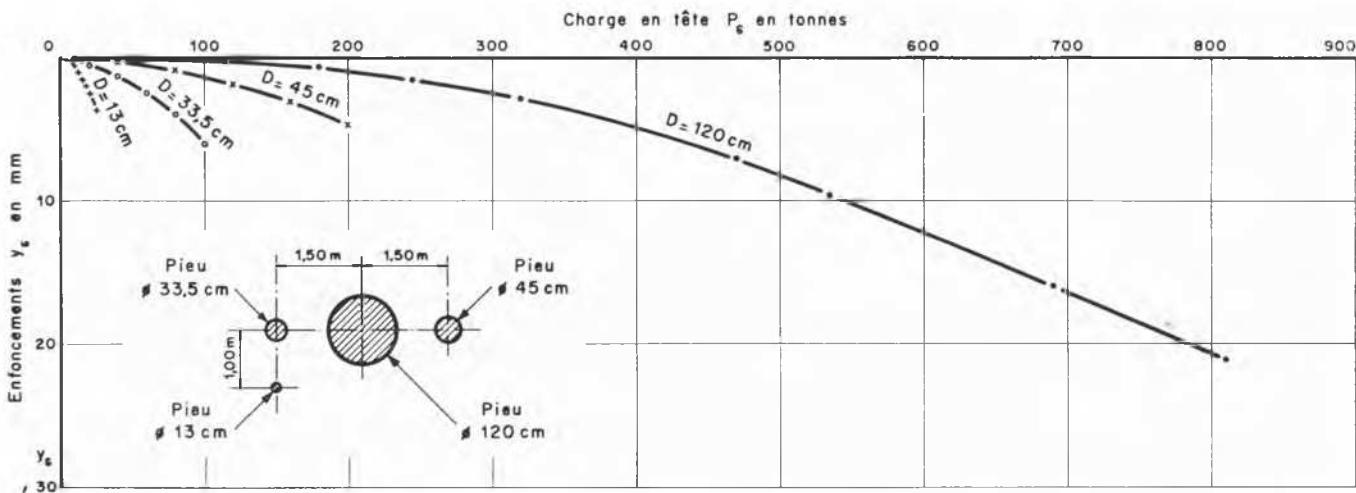


FIG. 10. Essais de Vitry. Enfoncements sous charge de pieux de différents diamètres de 20 m de long ayant une chemise lubrifiée de 0 à 6 m au droit de remblais, puis traversant 2 m de sables et graviers, 1 m de blocs et 11 m de marne. Les efforts en pointe de ces pieux sont donnés par la fig. 2 (Doc. Solétanche. E.D.F.).

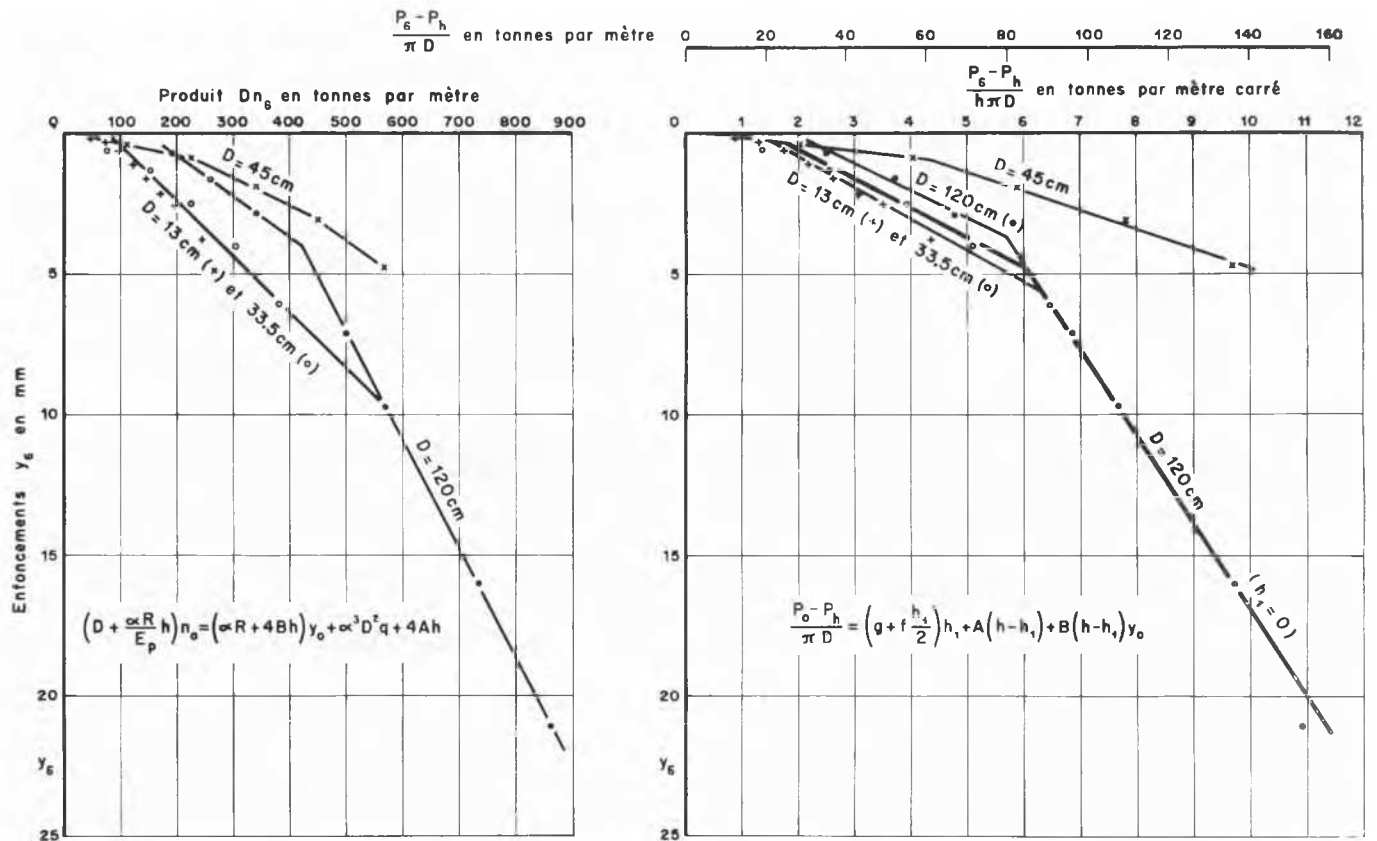


FIG. 11. Essais de Vitry. Recherche d'une courbe de tassement unique indépendante du diamètre des pieux. A gauche, effort en tête total; à droit frottement latéral.

ESSAIS	y_1 mm	A T/m ²	B T/m ³	f T/m ²	g T/m ³	q T/m ³	R T/m ²
SABLES FINS (DINESH MOHAN) PIEU À TUBE BATTU	0,5	0,85	7270	0,3	5,8	142	61700
SABLES FINS LIMONEUX (DS = 1,06) (GONFREVILLE) PIEU FORÉ	7	1	130	0,34	0		EFFORTS EN POINTE NON MESURES
SABLES FINS COMPACTS (MODÈLES RÉDUITS DE H. ZWECK) PIEU { RUGUEUX LISSE	1,7 ξ	0,4 0,7	2550 1330			29,4	845
MARNES SURCONSOLIDÉES (SAFI)							
PIEUX FORÉS { 8 T 8 NT 12 NT	1 1 1	0,74 0,74 0,59	5160 5040 4190	1,44 1,44 1,44	2 6 3,59	0 0 0	14800 11400 5700
MARNES + SABLES ET GRAVIERS (VITRY) PIEUX FORÉS	> 20	4,5	325	$h_1 = 0$	30		10250

FIG. 12. Interprétation des essais.

Quoiqu'il en soit, malgré la très forte sollicitation du béton des pieux de 13 et 33 cm, on n'a pas pu aller bien loin dans l'essai du sol, et le pieu de 120 cm n'a jamais donné $h_1 > 0$ malgré de forts enfoncements.

Fig. 12. Ce tableau résume l'interprétation des essais que nous avons faits. Il convient de remarquer que le comportement d'un pieu est conditionné par les valeurs de y_1 et B qui varient beaucoup. q et R varient aussi pas mal, mais

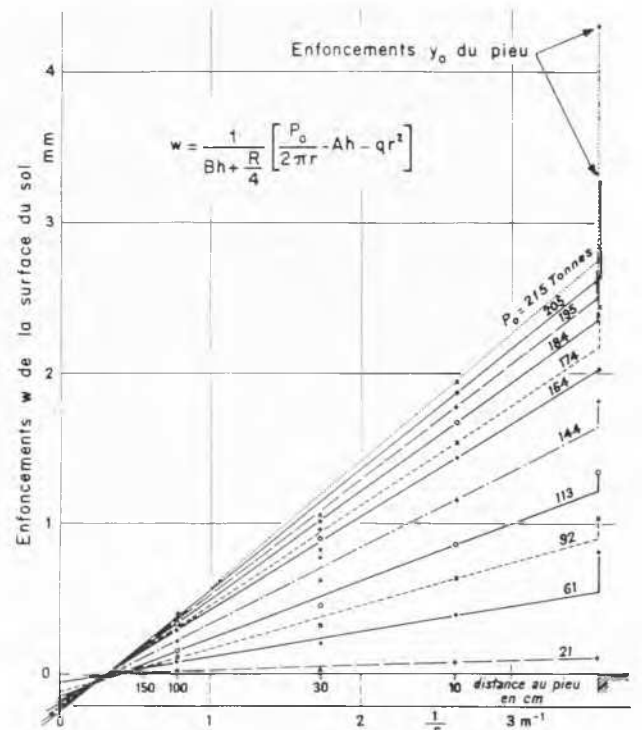


FIG. 13. Essais de Safi dans les marnes. Pieu 12 NT, enfoncements de la surface du sol.

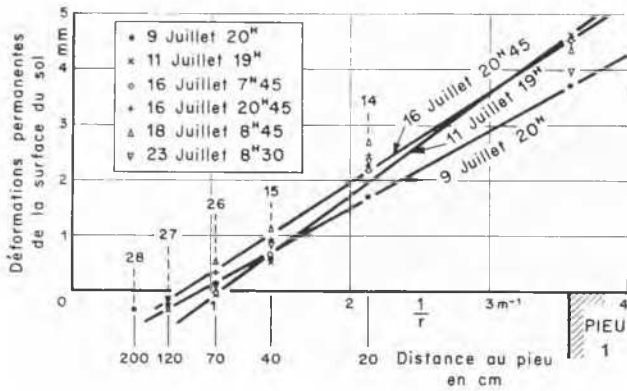


FIG. 14. Essais de Montereau. Pieux forés de 56 cm de diamètre et de 12,50 m de long traversant: 4 m de remblai, 4 m de marne, 3 m de gravier et 1,50 m de sable fin (Doc. Solétanche, E.D.F.). La déformation permanente du sol est également une fonction linéaire de $1/r$.

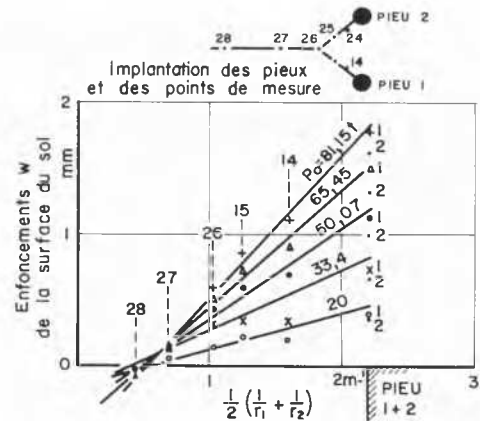


FIG. 15. Essais de Montereau. Déformation de la surface du sol lors de la charge simultanée des deux pieux.

comme dans un sol homogène l'effort de pointe est presque négligeable devant le frottement latéral, ce sont en fin de compte γ , et B qui sont essentiels. On peut presque fixer a priori tous les autres coefficients.

ENFONCEMENTS DE LA SURFACE DU SOL (PIEUX ISOLÉS ET GROUPES)

Fig. 13. Le chargement d'un pieu provoque des enfoncements de la surface du sol proportionnels à $1/r$. Les enfoncements y_0 du pieu sont supérieurs à ceux W_0 du sol à son contact immédiat.

Fig. 15. L'application de la même charge sur les deux pieux provoque une déformation de la surface du sol proportionnelle à $\Sigma 1/r$.

Fig. 16. La bonne concordance existant entre les valeurs calculées et mesurées des enfoncements d'un pieu y_0 et de la surface du sol W_0 à son voisinage immédiat, montre que les hypothèses de cette étude constituent une bonne approximation des phénomènes réels.

RÉFÉRENCES

CAMBEFORT, H. (1964). Settlements of piles and groups of piles. *Symposium on Bearing Capacity of Piles* (Roorkee, India), 24-25 fév. 1964, p. 89.

— (1964). Essai sur le comportement en terrain homogène des pieux isolés et des groupes des pieux. *Annales de l'I.T.B.T.P.*, déc. 1964, p. 1477.

MOHAN, DINESH, G. S. JAIN, et KUMAR VIRENDRA (1963). Load-bearing capacity of piles. *Géotechnique*, mars 1963, p. 76.

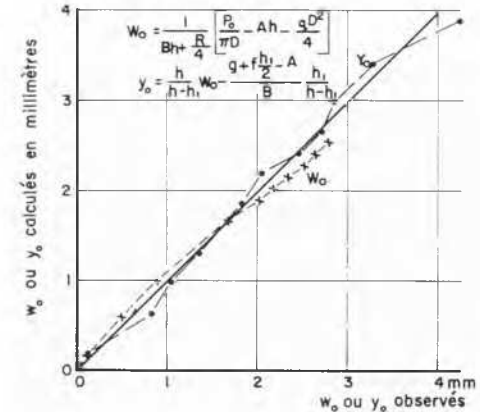


FIG. 16. Essais de Safi dans les marnes. Pieu 12 NT, vérification du calcul de y_0 et W_0 .

ROBINSKY, E. I., and C. F. MORRISON (1964). Sand displacement and compaction around model friction piles. *Revue canadienne de Géotechnique*, mars 1964, p. 81.

ZWECK, H. (1953). Mesures sur modèles réduits du frottement latéral et de la résistance de pointe des pieux. *Journées sur la Mécanique des Sols et la force portante des pieux, Annales de l'I.T.B.T.P.*, mars-avril 1953, p. 367.

— (1953). Zur Ermittlung der Tragfähigkeit von Pfählen. *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau* (Karlsruhe), déc. 1953, avril et nov. 1954.