

# 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.*

# Critère pour l'évaluation de la force portante d'un pieu

## Criterion for Estimating the Bearing Capacity of a Pile

par H CAMBEFORT Ingénieur civil de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole spéciale des Travaux publics

et

R. CHADEISSON Ingénieur civil de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées

### Sommaire

Pour évaluer le comportement futur de pieux à partir d'essais de chargement ne durant que quelques heures, il faut connaître la loi de variation des enfoncements en fonction du temps.

Après comparaison de diverses formules, on constate que souvent — au moins pendant quelques dizaines d'heures — les variations d'enfoncement sous une charge donnée sont proportionnelles à la quantité

$$\log(1 + m\sqrt{t})$$

Pour évaluer la force portante du pieu, il est alors possible d'établir un critère basé sur la variation plus ou moins rapide du rapport :

$$\frac{\text{enfoncement total} - \text{enfoncement instantané}}{\log(1 + m\sqrt{t})}$$

en fonction des charges appliquées.

### Introduction

On détermine généralement la "force portante" d'un pieu à partir de la courbe représentant les enfoncements en fonction des charges appliquées. On ne sait malheureusement pas interpréter cette courbe d'une façon scientifique (sauf dans de très rares cas où le poinçonnement est brutal), et on a recours à des règles tout à fait empiriques.

Cette façon de procéder donne lieu à deux sortes de critiques : — les règles utilisées tiennent compte uniquement de l'amplitude des enfoncements. De ce fait, la "force portante" calculée est fonction de l'élasticité du sol, et non de sa résistance ; et on obtient ainsi des fondations dont le coefficient de sécurité réel par rapport au poinçonnement est très variable ;

— ces règles ne tiennent pas compte du fluage du sol, qui est important dans certains terrains. Or, KAMMERER [1] a établi que, dans le cas du fluage, il existe une charge  $\sigma'_1$  — parfois très nettement inférieure à la charge de rupture instantanée  $\sigma''_1$  — à partir de laquelle la rupture se produit au bout d'un temps fini. Pour étudier, la stabilité d'un pieu dans le temps, on doit donc rechercher  $\sigma'_1$ , alors que les règles classiques essaient de déterminer  $\sigma''_1$  sur la courbe des enfoncements en fonction des charges.

Etant donné les imperfections des règles couramment adoptées, il semble utile d'établir une méthode plus par-

### Summary

An estimate of the bearing capacity of a pile from load tests lasting only a few hours requires knowledge of penetration relative to time.

The authors have compared various formulae, evolved from tests lasting at least ten hours, and they have found that penetration varies under a given load in proportion to the expression

$$\log(1 + m\sqrt{t})$$

They contend that the bearing capacity of a pile can be estimated by establishing a criterion based on the approximately rapid variation of the ratio :

$$\frac{\text{total penetration} - \text{instantaneous penetration}}{\log(1 + m\sqrt{t})}$$

as a function of the loads applied.

faite, tenant compte notamment de l'influence du temps

Pour cela, il faudrait logiquement maintenir chaque charge d'essai constante pendant plusieurs jours, ou même plusieurs semaines. Malheureusement, en pratique, cette façon d'opérer est inadmissible.

Nous avons été conduits à conserver des durées de chargement normales, et à établir une formule permettant d'extrapoler les résultats au delà de la durée des essais.

### Loi d'extrapolation rigoureuse

Les lois du fluage ont été étudiées avec précision pour les aciers de précontrainte [2]. Par analogie avec les résultats connus pour les aciers, nous avons envisagé une loi d'extrapolation de la forme :

$$z = \alpha_1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_3 + t^{-\alpha_4}} \quad (1)$$

$z$  étant la déformation

$t$  étant le temps

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  et  $\alpha_4$  étant quatre coefficients.

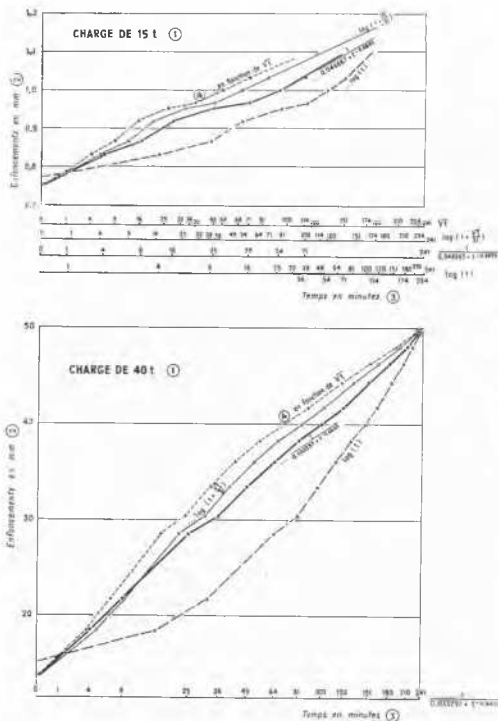


Fig. 1 Représentation des enfoncements en fonction de

$$\sqrt{t}, \log t, \log(1 + m\sqrt{t}) \frac{1}{\alpha_3 + t^{-\alpha_4}}$$

Penetration as a function of ...

1. ...  $t$  load. — 2. Penetration in mm. — 3. Time in minutes. — 4. As a function of ...

La forme de cette formule est théoriquement très intéressante, car elle fait apparaître :

- l'enfoncement limite au bout d'un temps infini

$$\left( \alpha_1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_3} \right)$$

— la charge limite de Kammerer  $\sigma'_1$ , correspondant à la plus petite charge donnant un coefficient  $\alpha_3$  nul.

La Fig. 1 montre qu'effectivement cette loi est valable, puisqu'il est possible de déterminer deux coefficients  $\alpha_3$  (fonction de la charge) et  $\alpha_4$  (indépendant de la charge) de façon que la déformation  $z$  soit sensiblement une fonction linéaire de la quantité :

$$\frac{1}{\alpha_3 + t^{-\alpha_4}}$$

Par suite des erreurs de mesure sur  $z$  et  $t$ , on peut même déterminer un grand nombre de couples de valeurs ( $\alpha_3, \alpha_4$ ) répondant à la question : ce grand choix est regrettable, car le terme  $\alpha_3$  ne peut ainsi être déterminé d'une façon précise, et il est impossible d'indiquer pour quelle charge ce coefficient  $\alpha_3$  s'annule.

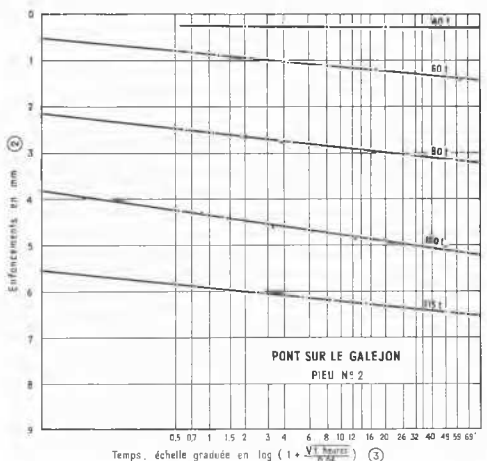
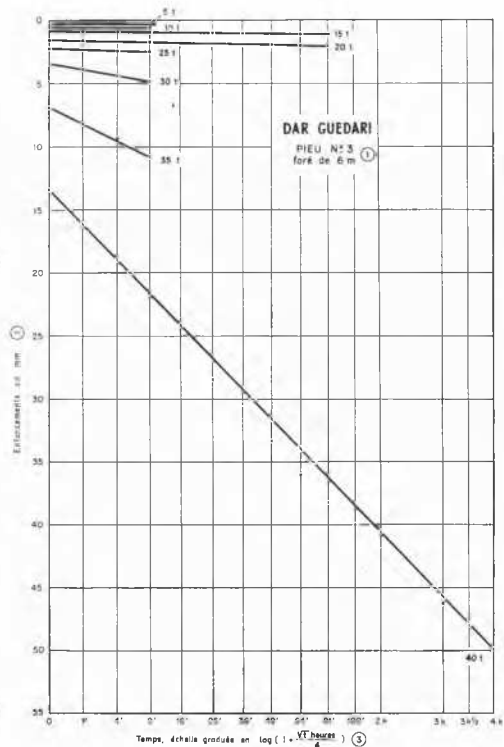


Fig. 2 Représentation des enfoncements en fonction de  $\log(1 + m\sqrt{t})$

Penetration as a function of ...

1. Bored pile n° 3 : 6 m. — 2. Penetration in mm. — 3. Time, graduated scale in ...

Malgré sa grande valeur théorique, la formule (1) s'avère donc inutilisable pour la détermination de la charge limite.

### Loi d'extrapolation approchée

Devant l'impossibilité de calculer exactement ce qui se passe à l'infini, on doit se contenter d'extrapoler jusqu'à une valeur du temps grande, mais finie.

Le nombre de paramètres de la formule peut alors être réduit de quatre à trois.

Il est bien connu que l'enfoncement  $z$  varie comme une fonction linéaire de  $\sqrt{t}$  lorsque les valeurs de  $t$  sont faibles :

$$z = \beta_1 + \beta_2 \sqrt{t} \quad \dots (2)$$

et comme une fonction linéaire de  $\log t$  lorsque les valeurs de  $t$  sont grandes :

$$z = \gamma_1 + \gamma_2 \log t \quad \dots (3)$$

Aucune de ces deux relations ne convenant parfaitement pendant tout l'intervalle de temps considéré (Fig. 1), nous avons cherché une formule qui soit équivalente à  $\sqrt{t}$  pour  $t$  petit et équivalente à  $\log t$  pour  $t$  grand.

La loi correspondante est de la forme :

$$z = \delta_1 + \delta_2 \log(1 + m\sqrt{t}) \quad \dots (4)$$

La Fig. 1 montre que — pour un pieu donné — on peut déterminer un coefficient  $m$  tel que, pour n'importe quelle

charge, la déformation  $z$  soit sensiblement une fonction linéaire de la quantité :

$$\log(1 + m\sqrt{t})$$

La détermination du coefficient  $m$  est relativement aisée parce que ce paramètre intervient seul dans la graduation des abscisses.

La loi (4) proposée n'est pas rigoureuse, puisqu'elle donne un enfoncement infini pour une valeur infinie du temps, quelle que soit la charge exercée sur le pieu. Toutefois, ayant été vérifiée pour certaines charges pendant quelques heures, on peut admettre qu'elle est encore approximativement valable pour toutes les charges, durant quelques dizaines ou même quelques centaines d'heures.

### Détermination de la charge limite

La loi d'extrapolation étant ainsi établie, il est possible de chercher la charge limite de Kammerer en étudiant comment les enfoncements augmentent en fonction du temps.

Or, sur les graphiques représentant les enfoncements en fonction de  $\log(1 + m\sqrt{t})$ , la pente des droites obtenues caractérise à elle seule la façon dont les enfoncements varient dans le temps (Fig. 2).

D'où l'idée d'étudier les variations de cette pente  $\delta_2$  en fonction des charges (Fig. 3) : on constate alors qu'après une croissance lente *proportionnelle aux charges*, le terme  $\delta_2$  se met brutalement à augmenter rapidement.

Cette croissance rapide de  $\delta_2$  correspond certainement à

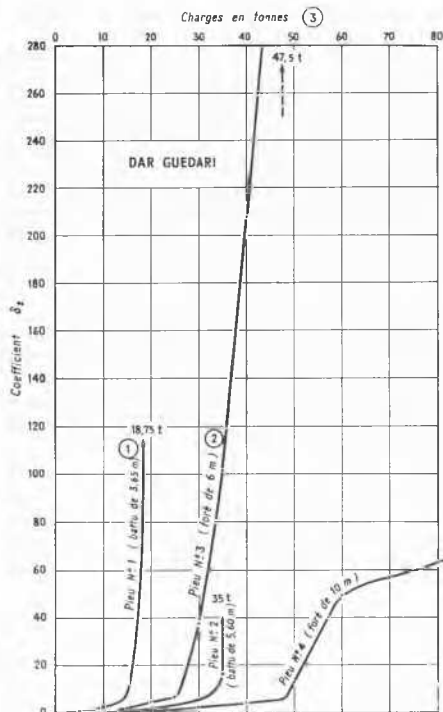
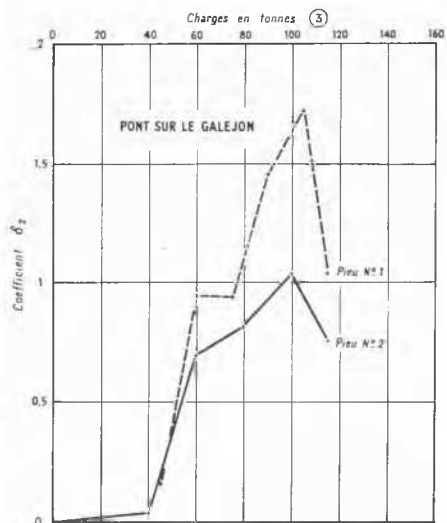


Fig. 3 Variation de la pente de la droite représentative en fonction des charges.

Variation of the slope of the load line.

1. Pile n° ... (driven: ...)
2. Pile n° ... (bored: ...)
3. Loads in tons.



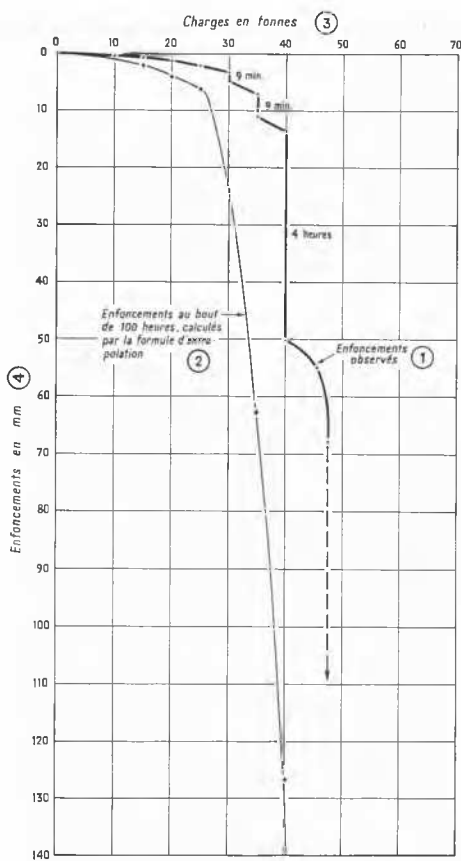


Fig. 4 Utilisation de la formule  $\delta_2 \log(1 + m\sqrt{t})$   
Pieu n° 3 de Dar Guedari.

Application of formula  $\delta_2 \log(1 + m\sqrt{t})$   
Pile No. 3 at Dar Guedari.

1. Penetration noted. — 2. Penetrations after 100 hours, calculated with the formula of extrapolation. — 3. Load calculated with the formula of extrapolation. — 4. Penetration in mm.

un changement très important dans le comportement du pieu. Par analogie avec la théorie de Kammerer, on peut admettre que ce changement se produit pour la charge à partir de laquelle la rupture a lieu au bout d'un temps fini.

D'où une détermination de la charge limite, qui est très précise car la loi de variation de  $\delta_2$  change brutalement.

#### Force portante du pieu

La "force portante" utilisable est évidemment inférieure à la charge limite. Toutefois, compte tenu de la grande précision avec laquelle la charge limite peut être calculée, il n'est pas utile d'adopter un coefficient de sécurité aussi élevé que lorsqu'on utilise les règles empiriques habituelles.

Nous proposons donc de fixer "la force portante" à une valeur comprise entre 0,6 et 0,8 fois la charge limite, lorsque cette dernière est déterminée avec précision comme c'est le cas sur la Fig. 3.

#### Remarque

Parmi les exemples précédents, reprenons le cas du pieu n° 3 de Dar Guedari, sur lequel la plupart des charges n'ont été appliquées que pendant une dizaine de minutes.

Malgré la faible durée d'application des charges, la règle proposée a permis de déterminer avec une grande précision une charge limite de 26 T (Fig. 3). Le tracé habituel de la courbe enfoncements/charges aurait par contre fait apparaître une charge de poinçonnement de 47,5 T beaucoup trop forte (Fig. 4).

A titre de curiosité, on peut se demander quel résultat aurait été obtenu si l'on avait laissé chaque charge appliquée pendant très longtemps, par exemple pendant une centaine d'heures.

La formule d'extrapolation (4) permet de déterminer approximativement les enfoncements au bout de 100 heures (Fig. 4). On constate qu'avec cette condition de chargement la courbe enfoncements/charges fait apparaître une charge limite voisine de 26 tonnes, comme la règle de détermination proposée ci-dessus.

Cet exemple fait apparaître :

- la nécessité de tenir compte du temps,
- le grand avantage de la règle proposée, qui permet de réduire la durée des essais dans le rapport de 100 heures à 10 minutes.

#### Références

- [1] KAMMERER Albert (1951). Les propriétés mécaniques des solides réels et la théorie de l'élasticité. Hermann et Cie, Editeurs.
- [2] STÜSSI Fritz (1959). Zur Relaxation von Stahldrähten. Association Internationale des Ponts et Charpentes XIX<sup>e</sup> volume des "Mémoires", Zurich.