

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

ANNALES  
DES  
TRAVAUX  
PUBLICS  
DE BELGIQUE



TIJDSCHRIFT  
DER  
OPENBARE  
WERKEN  
VAN BELGIË

D.R.

MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN

## METHODES DE DEDUCTION DE LA CAPACITE PORTANTE D'UN PIEU A PARTIR DES RESULTATS DES ESSAIS DE PENETRATION

(1<sup>re</sup> partie)

par

**Prof. Dr. ir E. DE BEER**

Professeur ordinaire à la R.U.G. et à la K.U.L.  
Directeur Général de l'Institut Géotechnique de l'Etat

METHODES DE DEDUCTION DE LA CAPACITE  
PORTANTE D'UN PIEU A PARTIR DES  
RESULTATS DES ESSAIS DE PENETRATION

### I. INTRODUCTION

Les essais au pénétromètre permettent d'obtenir à chaque profondeur la résistance à la pénétration d'un cône de petit diamètre, ainsi que la résistance au frottement latéral d'un tuyau en acier ayant la même section que le cône. En Hollande la mesure du frottement total est remplacée par celle du frottement sur un manchon flottant standardisé, appelé manchon Begeman [1].

Les déductions mathématiques [2] [3] [4] et les essais en vraie grandeur ont suffisamment montré que les résistances à la pointe  $C_{k,d}$  enregistrées avec le petit cône ne peuvent être automatiquement appliquées au cas de la section beaucoup plus grande du pieu, et qu'il est indispensable de tenir compte d'un effet d'échelle.

L'hétérogénéité du sol vient encore compliquer la transposition des résultats des essais de pénétration au cas des pieux.

La présente contribution a pour but d'examiner les méthodes préconisées par divers auteurs pour déterminer la force portante de rupture d'un pieu battu à partir des résistances au cône, d'en faire la critique et de présenter une méthode permettant d'éviter certaines anomalies.

Ce n'est qu'incidemment que l'on traitera de la capacité portante des pieux, provenant du frottement latéral. De ce fait cette contribution présente surtout de l'intérêt pour des pieux battus dont la capacité portante limite provient essentiellement de la résistance à la base.

### II. METHODE DU LABORATOIRE DE MECA- NIQUE DES SOLS DE DELFT

#### a. Description de la méthode

Le Laboratoire de Mécanique des Sols de Delft Hollande (Laboratorium voor Grondmechanica) à partir d'une étude statistique très poussée, basée sur la corrélation entre les diagrammes d'essais de pénétration d'une part, et de nombreux essais de charge sur pieux d'autre part, a mis au point une méthode, qui dans la suite sera appelée la méthode L.G.M. Les principes de cette méthode se retrouvent dans un article de Begeman [5]. Désignons par :

- $C_{k,d}$  = la résistance à la pointe mesurée au pénétromètre de diamètre  $d$ ,
- $d_g$  = la résistance unitaire de rupture à la base d'un pieu,
- $D$  = le diamètre de la base.

Dans la méthode L.G.M. la résistance  $d_g$  est considérée être la moyenne de deux valeurs  $d_{g,i}$  et  $d_{g,s}$ :

$$d_g = \frac{d_{g,i} + d_{g,s}}{2} \quad (1)$$

$d_{g,i}$  et  $d_{g,s}$  représentant respectivement des résistances calculées en considérant les valeurs de  $C_{k,d}$  enregistrées dans les couches qui se trouvent au-dessous et au-dessus du niveau de la base du pieu.

En partant de l'allure des surfaces de rupture lors du poinçonnement, telles que définies par Jaky (fig. 1) pour un matériau incompressible, on estime que l'épaisseur du sol qui peut être intéressée au glissement s'étend :

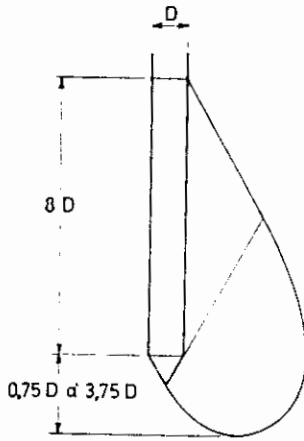


Fig. 1.

- 1) en dessous de la base du pieu à une profondeur pouvant varier entre  $0,75 D$  et  $3,75 D$ ,
- 2) au-dessus de la base du pieu sur  $8 D$  à partir de cette base.

Considérons d'abord un diagramme de pénétration très simple, où la résistance à la pointe  $C_{k,d}$  aurait une valeur constante « a » jusqu'à la profondeur h, pour passer ensuite brutalement à la valeur constante « b » (fig. 2).

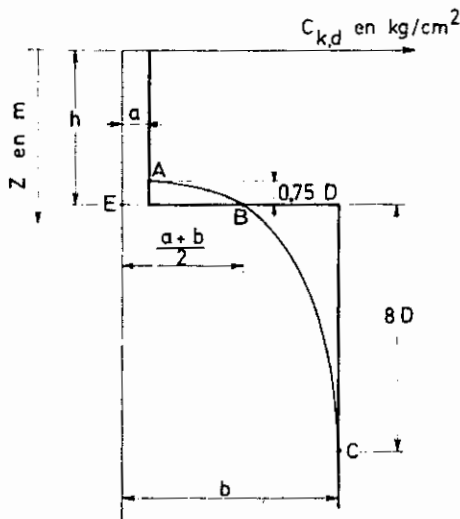


Fig. 2.

D'après la méthode L.G.M. on aurait les résistances unitaires de rupture suivantes sous un pieu de base D, se trouvant à la profondeur z.

$$\begin{aligned} \text{Pour } z < h - 0,75 D & \quad d_g = a \\ z > h + 8 D & \quad d_g = b \\ z = h & \quad d_g = \frac{a + b}{2} \end{aligned} \quad (2)$$

Ce cas simple aide à mieux comprendre l'application de la méthode à des cas plus compliqués.

Considérons un diagramme réel de résistance à la pointe en fonction de la profondeur, tel que celui dessiné à la figure 3, et un pieu de diamètre D arrêté à un niveau quelconque  $\alpha$ .

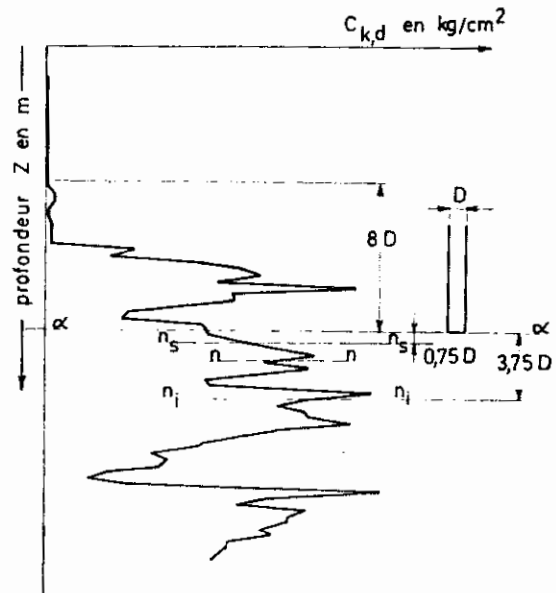


Fig. 3.

#### 1) Détermination de $d_{g,i}$

La couche pouvant influencer la capacité portante du pieu est limitée inférieurement par un niveau nn (fig. 3), compris entre  $0,75 D$  et  $3,75 D$

Le niveau déterminant nn n'étant pas connu à priori, on devra considérer tous les niveaux compris entre le niveau  $n_s n_s$  ( $0,75 D$ ) et  $n_i n_i$  ( $3,75 D$ ).

Considérons un niveau quelconque nn compris entre les deux limites définies ci-dessus, et appelons  $d_{g,i}^{(n)}$  la valeur correspondant à ce niveau. La valeur  $d_{g,i}^{(n)}$  est obtenue par la formule:

$$d_{g,i}^{(n)} = \frac{d_{g,i,1}^{(n)} + d_{g,i,2}^{(n)}}{2} \quad (3)$$

La grandeur  $d_{g,i,1}^{(n)}$  est la valeur moyenne des résistances à la pointe  $C_{k,d}$  enregistrées entre le niveau  $\alpha$  de la base du pieu, et le niveau (n) considéré.

Appelons  $C_{k,d,1}$  la résistance à la pointe mesurée au niveau  $\alpha\alpha$ , et  $C_{k,d,n}$  celle mesurée au niveau  $nn$  et soit  $n$  le nombre de mesures effectuées à des entret-distances constantes entre ces 2 niveaux.

On a :

$$d_{g,i,1}^{(n)} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} C_{k,d,j} - \frac{C_{k,d,1} + C_{k,d,n}}{2}}{n - 1} \quad (4)$$

Pour le calcul de  $d_{g,i,2}^{(n)}$  on considère successivement

les valeurs  $C_{k,d,j}$  de  $C_{k,d}$  dans l'ordre croissant de profondeur. Soit  $C_{k,d,p}$  et  $C_{k,d,q}$  deux valeurs avec  $q > p$ . Toute valeur  $C_{k,d,p}$  qui est supérieure à une valeur  $C_{k,d,q}$  trouvée à une niveau inférieur, est supprimée et remplacée par la valeur  $C_{k,d,q}$ . On peut exprimer ce processus en disant qu'entre le niveau de la base du pieu et le niveau  $nn$  considéré, les valeurs  $C_{k,d}$  trouvées sont corrigées par rabais aux valeurs de retour.

Ce processus est aussi illustré par les figures 4 a et b, et les figures 5 a et 5 b.

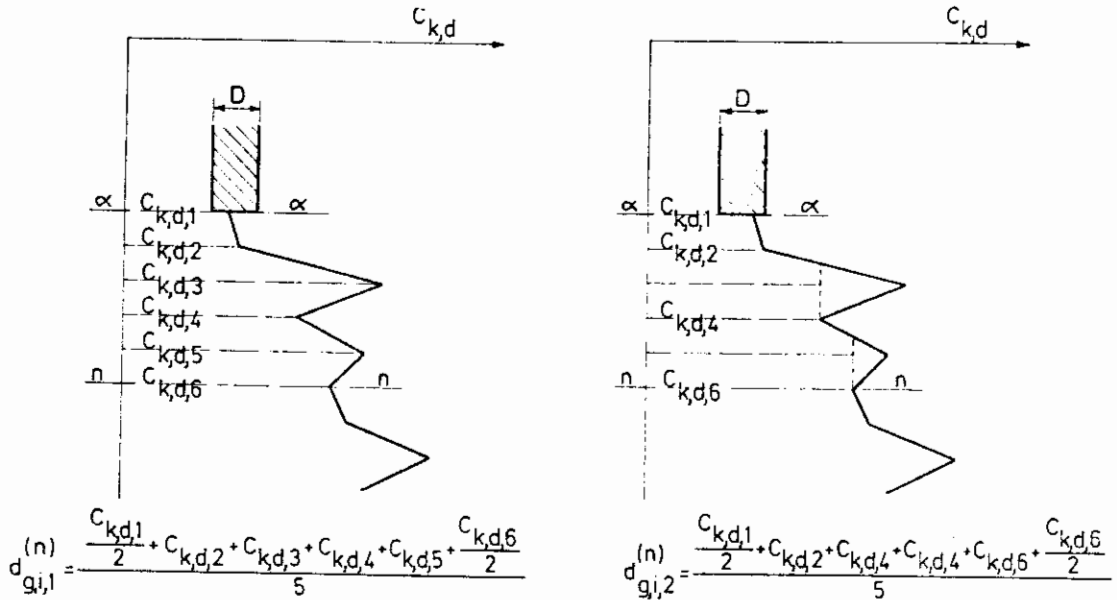


Fig. 4a et 4b.

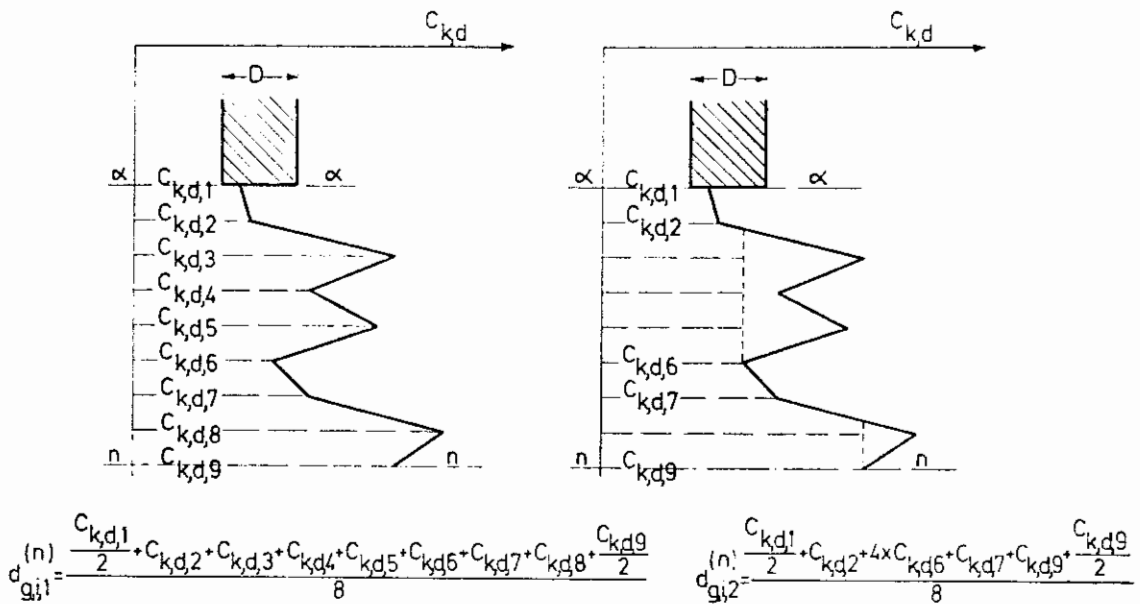


Fig. 5a et 5b.

Appelons  $C'_{k,d,j}$  les valeurs de  $C_{k,d}$  ainsi ravalées vers le bas.

On calcule:

$$d_{g,i,2}^{(n)} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} C'_{k,d,j} - \frac{C'_{k,d,1} + C'_{k,d,n}}{2}}{n-1} \quad (5)$$

Remarquons que si le diagramme  $C_{k,d}$  est continuellement croissant entre les niveaux  $\alpha\alpha$  et  $nn$  on a:

$$C'_{k,d,j} \equiv C_{k,d,j}$$

et donc:  $d_{g,i,1}^{(n)} = d_{g,i,2}^{(n)}$

d'où par (3):  $d_{g,i}^{(n)} = d_{g,i,1}^{(n)}$

D'autre part si  $C_{k,d,n}$  est la plus petite de toutes les valeurs  $C_{k,d,j}$  mesurées entre les niveaux  $\alpha\alpha$  et  $nn$ , on a:

$$C'_{k,d,j} \equiv C_{k,d,n}$$

et par (5):  $d_{g,i,2}^{(n)} = C_{k,d,n}$

et par (3):  $d_{g,i}^{(n)} = \frac{d_{g,i,1}^{(n)} + C_{k,d,n}}{2}$ .

Les calculs précédents sont effectués pour tous les niveaux  $nn$ , allant de  $n_3n_3$  (0,75 D) et  $n_1n_1$  (3,75 D); on adopte finalement pour  $d_{g,i}$  la plus petite de toutes les valeurs  $d_{g,i}^{(n)}$  ainsi trouvées.

## 2) Détermination de $d_{g,s}$

La valeur de  $d_{g,s}$  est obtenue en faisant la moyenne de toutes les valeurs  $C_{k,d}$  enregistrées sur une hauteur de 8 D au-dessus du niveau  $\alpha\alpha$  de la base du pieu, en rabattant toutefois toutes les valeurs de  $C_{k,d}$  qui sont plus grandes que celles qui les précèdent lorsqu'on

parcourt le diagramme à partir de la base du pieu, la première valeur prise en considération étant la plus petite valeur trouvée entre le niveau  $\alpha\alpha$  de la base du pieu et le niveau  $n_1n_1$  située à 3,75 D sous la base du pieu.

Si  $m$  représente le nombre de lectures entre le niveau  $\alpha\alpha$  de la base du pieu et le niveau  $mm$  correspondant à la hauteur 8 D (fig. 6 a), et si  $C'_{k,d,j}$  sont les valeurs ravalées on a:

$$d_{g,s} = \frac{\sum_{j=1}^{j=m} C'_{k,d,j} - \frac{C'_{k,d,1} + C'_{k,d,m}}{2}}{m-1} \quad (6)$$

Au cas de la figure 6 a, où l'on a supposé:

1°)  $C_{k,d,1}$  intérieur à toutes les valeurs mesurées entre les niveaux  $\alpha\alpha$  et  $n_1n_1$  (3,75 D).

2°)  $C_{k,d,3} < C_{k,d,4} \dots$  jusque  $C_{k,d,11}$

$C_{k,d,3} > C_{k,d,12} < C_{k,d,13}$  jusque  $C_{k,d,15}$

$C_{k,d,16}$  étant la plus petite valeur enregistrée sur la hauteur 8 D.

on a:

$$C'_{k,d,1} = C_{k,d,1}$$

$$C'_{k,d,2} = C_{k,d,2}$$

$$C'_{k,d,3} = C_{k,d,3}$$

$$C'_{k,d,4} = C'_{k,d,5} = \dots = C'_{k,d,11} = C_{k,d,3}$$

$$C'_{k,d,12} = C_{k,d,12}$$

$$C'_{k,d,13} = C'_{k,d,14} = C'_{k,d,15} = C_{k,d,12}$$

$$C'_{k,d,16} = C_{k,d,16}$$

A la figure 6b on a considéré le cas où sur l'épaisseur de 3,75 D il y a un  $C_{k,d,n}$  qui est inférieur à  $C_{k,d,1}$ .

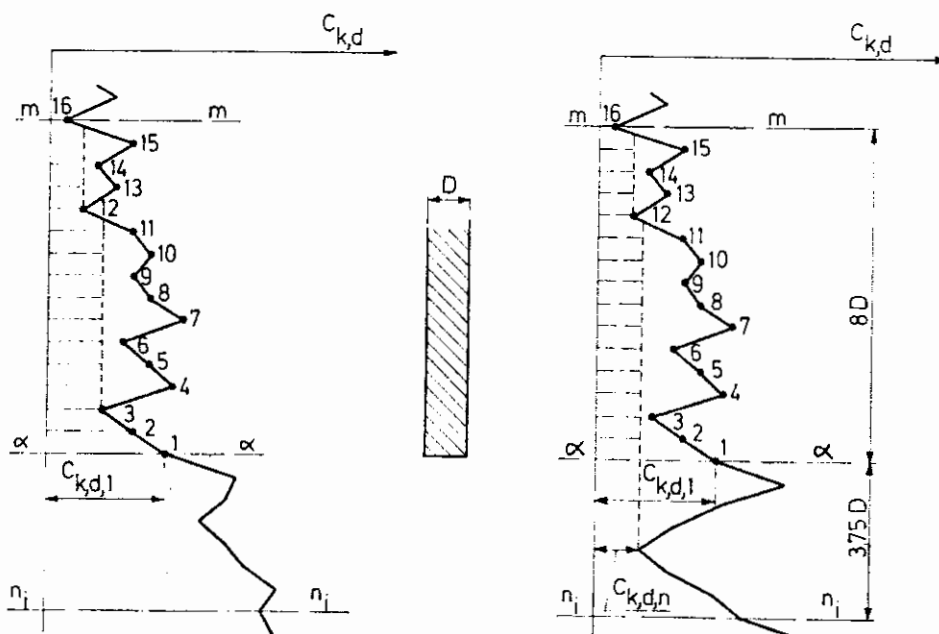


Fig. 6a et 6b.

Soit:

$$C_{k,d,12} < C_{k,d,n} < C_{k,d,3} < C_{k,d,1}$$

On a alors:

$$C'_{k,d,1} = \dots = C'_{k,d,11} = C_{k,d,n}$$

$$C'_{k,d,12} = \dots = C'_{k,d,15} = C_{k,d,12}$$

$$C'_{k,d,16} = C_{k,d,16}$$

Remarquons que si  $C_{k,d,n}$  est inférieur à toutes les valeurs  $C_{k,d}$  mesurées entre les niveaux  $\alpha\alpha$  et  $mm$ , on a:

$$C_{k,d,j} = C_{k,d,n}$$

$$\text{et } d_{g,s} = C_{k,d,n}$$

### b. Critique de la méthode

La description donnée ci-dessus de la méthode L.G.M. indique clairement qu'il s'agit d'une méthode purement empirique.

La méthode L.G.M. est basée sur une corrélation statistique entre les résultats d'essais de pénétration et d'essais de mise en charge de pieux. Pour autant que l'on se limite à des pieux ayant des longueurs et des dimensions transversales usuelles, l'expérience hollandaise indique qu'il y a une bonne correspondance globale entre les valeurs de la capacité portante de rupture prédites à partir de la méthode L.G.M. et la valeur réelle.

Pour être complet, il faut toutefois ajouter que dans la méthode L.G.M. la part de la capacité portante de rupture due au frottement latéral est déterminée à partir de mesures faites avec le manchon flottant de Begeman [1] [6].

La bonne correspondance globale constatée ne dispense toutefois pas de faire une critique rationnelle de la méthode L.G.M. et de la confronter avec des résultats obtenus dans des conditions non usuelles.

#### 1) Critique rationnelle

Dans des cas simplifiés la méthode L.G.M. conduit à des résultats difficilement justifiables.

#### Cas A

Lorsqu'on a un remblai de sable fortement compacté, on peut trouver à partir de 1 m de profondeur des résistances à la pointe supérieures à  $200 \text{ kg/cm}^2$ . Considérons le diagramme idéalisé de la figure. 7.

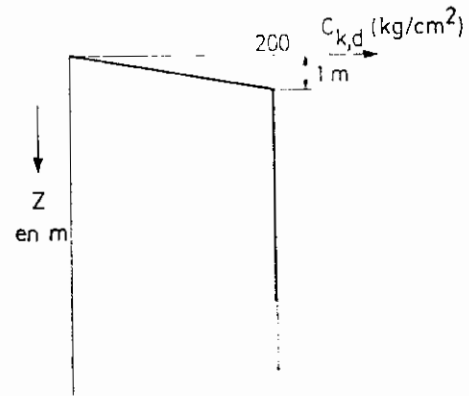


Fig. 7.

D'après la méthode L.G.M. on aurait à 1 m de profondeur:

$$d_g = \frac{d_{g,i} + d_{g,s}}{2}$$

$$d_{g,i} = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$d_{g,s} > 0$$

et donc:

$$d_g > \frac{200 + 0}{2} = 100 \text{ kg/cm}^2.$$

On obtiendrait donc une capacité portante de rupture au moins égale à  $100 \text{ kg/cm}^2$  et cela quel que soit le diamètre du pieu. Pour des pieux de grand diamètre c'est évidemment une valeur exagérée.

#### Cas B

Considérons le cas d'une épaisse couche de vase avec  $C_{k,d} = 0 \text{ kg/cm}^2$ . En dessous de la vase nous trouvons les deux cas suivants (fig. 8):

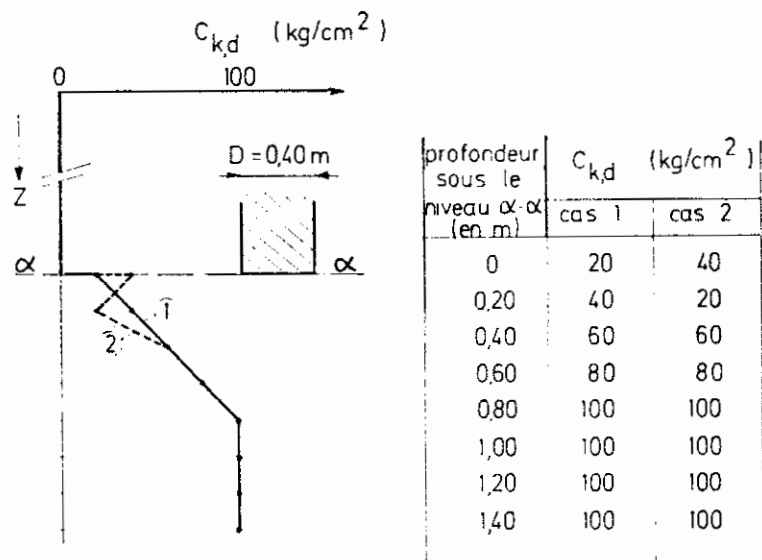


Fig. 8.

On a un pieu  $D = 0,40$  m  
d'où  $0,75 D = 0,30$  m  
 $3,75 D = 1,50$  m  
 $8 D = 3,20$  m

Cas 1: On a

$$d_{g,i} = \frac{d_{g,i,1}^{(n)} + d_{g,i,2}^{(n)}}{2}$$

$$\left. \begin{aligned} d_{g,i,1}^{(2)} &= \frac{20 + 40}{2} = 30 \text{ kg/cm}^2 \\ d_{g,i,2}^{(2)} &= \frac{20 + 40}{2} = 30 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned} \right\} d_{g,i} = 30 \text{ kg/cm}^2$$

Les valeurs de  $d_{g,i}$  correspondant à d'autres valeurs de  $n$  sont toutes supérieures à la valeur calculée pour  $n = 2$ , et ne doivent donc pas être retenues.

$$d_{g,s} = \frac{\frac{20}{2} + 0 + 0 + 0 + \dots + \frac{0}{2}}{15} = \frac{2}{3} \text{ kg/cm}^2$$

d'où pour le premier cas:

$$d_g = \frac{d_{g,i} + d_{g,s}}{2} = \frac{30 + \frac{2}{3}}{2} = 15,33 \text{ kg/cm}^2.$$

Cas 2: On a

$$d_{g,i,1}^{(2)} = \frac{40 + 20}{2} = 30 \text{ kg/cm}^2$$

$$d_{g,i,2}^{(2)} = \frac{20 + 20}{2} = 20 \text{ kg/cm}^2$$

$$d_{g,i} = \frac{30 + 20}{2} = 25 \text{ kg/cm}^2$$

$$d_{g,s} = \frac{\frac{20}{2} + 0 + 0 + 0 + \dots + \frac{0}{2}}{15} = \frac{2}{3} \text{ kg/cm}^2,$$

d'où pour le 2<sup>e</sup> cas:

$$d_g = \frac{d_{g,i} + d_{g,s}}{2} = \frac{25 + \frac{2}{3}}{2} = 12,83 \text{ kg/cm}^2.$$

Alors que dans le premier cas le pieu se trouve directement sur la lentille moins résistante, on obtient une capacité portante plus forte que lorsque cette lentille se trouve 20 cm plus bas. C'est un résultat pour le moins inattendu, sinon improbable.

## 2) Confrontation avec les résultats expérimentaux

Kérisel [2] [3] a décrit des essais systématiques de portance qui ont été effectués dans des sables de

compacité donnée avec des pénétromètres et pieux de sections diverses. Si la méthode L.G.M. est d'application générale, il devrait être possible à partir des résistances à la pointe  $C_{k,d}$  obtenues avec des pénétromètres de petite section, de retrouver la courbe de variation des résistances à la base  $d_g$  des pieux de plus grande section.

Par exemple à la figure 9 on a dessiné la courbe expérimentale  $C_{k,d}$  en fonction de la profondeur obtenue dans un sable de Loire très serré, avec un pénétromètre  $\varnothing 45$  mm. A partir des valeurs  $C_{k,d}$  obtenues avec le cône  $\varnothing 45$  mm on peut prédire par la méthode L.G.M. les valeurs  $d_g$  valables pour le pieu  $\varnothing 216$  mm par exemple.

Remarquons que dans l'application de cette méthode, au cas de pieux faiblement enterrés la distance  $8 D$  peut être inférieure à la distance entre le niveau de la base du pieu et la surface du sol. En ce cas le calcul de  $d_{g,s}$  se fait en supposant que les valeurs de  $C'_{k,d,j}$  dans la zone fictive située au-dessus de la surface du sol sont nulles. C'est là une extrapolation a priori osée, puisque non couverte par les corrélations expérimentales, qui sont à la base de la méthode L.G.M.

Si l'on applique la méthode L.G.M. de cette façon on obtient à partir de la courbe expérimentale  $C_{k,d}$  du pénétromètre  $\varnothing 45$  mm, les valeurs  $d_g$  des pieux  $\varnothing 110$ ,  $\varnothing 216$  et  $\varnothing 320$  mm renseignées au tableau I. Ces valeurs calculées sont représentées par les courbes OABC des figures 9. Lorsqu'on compare ces courbes aux courbes expérimentales EE obtenues réellement pour ces pieux, on constate que les valeurs obtenues avec la méthode L.G.M. sont pour les pieux  $\varnothing 216$  et  $\varnothing 320$  nettement supérieures aux valeurs réelles et sont donc dangereuses.

On aboutit donc à la conclusion que si l'on applique la méthode L.G.M. de la façon décrite à des pieux faiblement enterrés on aboutit à des valeurs supérieures aux valeurs réelles. Ceci invite à la prudence lorsqu'on serait tenté d'extrapoler l'utilisation de la méthode L.G.M. dans ce domaine.

## III. METHODE MEYERHOF

### A. Méthode non amendée

#### a. Description de la méthode

Meyerhof a étudié d'une façon approfondie le problème de la capacité portante de pieux à base élargie. Sa méthode qui tient compte de l'accrois-

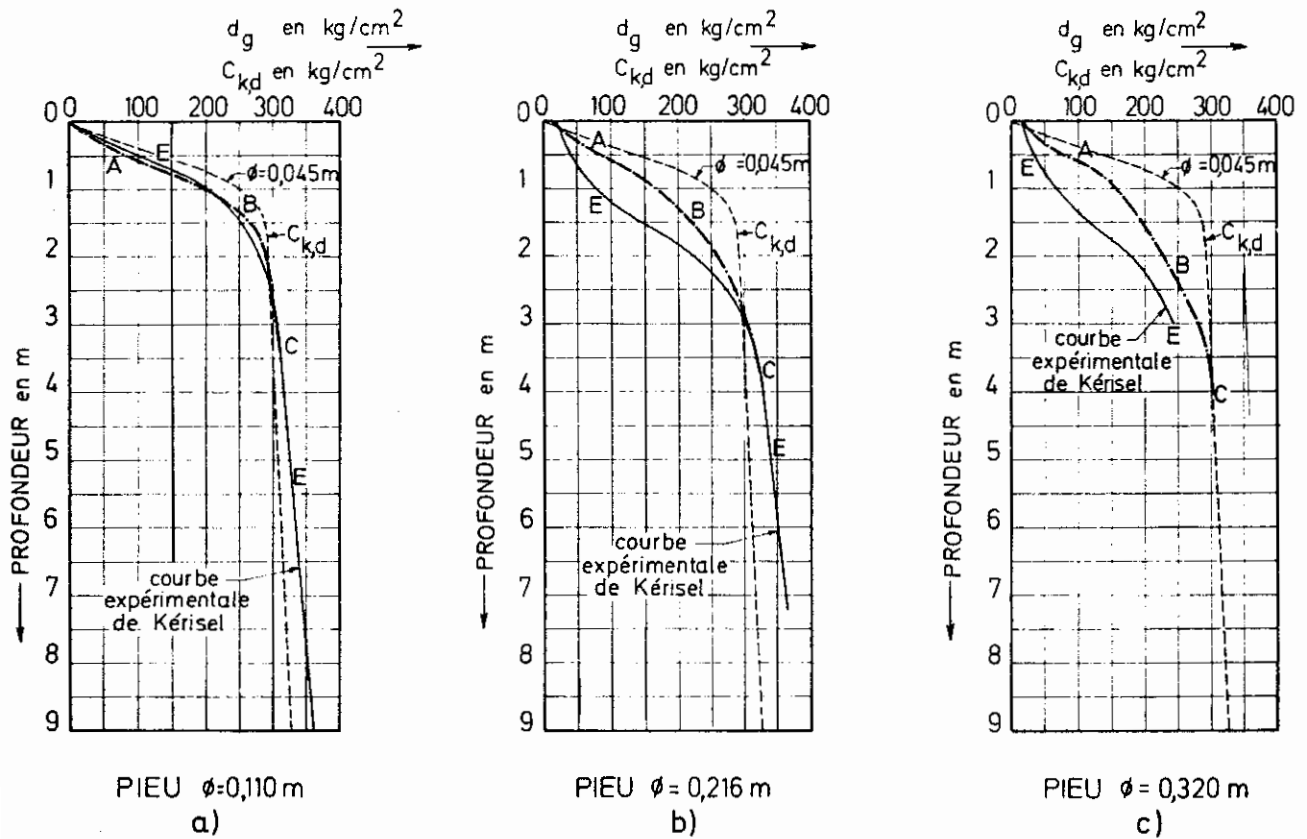


Fig. 9.

Courbes E : valeurs expérimentales.  
 Courbes OABC : valeurs calculées par la méthode LGM.

sement de la compacité, due au battage du fourreau et à la formation du bulbe, est décrite dans les contributions [7] et [8].

Si par cette méthode on désire obtenir la capacité portante de rupture par résistance à la base, à partir des valeurs  $C_{k,d}$  des essais de pénétration, on peut partir des constatations suivantes mentionnées par Meyerhof.

Au cas de pieux battus dans des couches sableuses une bonne corrélation est obtenue entre la résistance unitaire à la base du pieu  $d_g$  et la valeur moyenne  $C_{k,d,m}$  sur une épaisseur allant de 1 diamètre au-dessous du niveau de la base, jusque 4 diamètres au-dessus de ce niveau.

Si  $H$  représente la profondeur du niveau de la base en dessous de la surface du sol, et si  $\frac{H}{D} < 10$  la valeur de  $C_{k,d,m}$  ainsi trouvée doit être réduite dans

le rapport  $\frac{H}{10D}$ . On doit donc alors introduire une valeur réduite  $C'_{k,d,m}$  donnée par :

$$C'_{k,d,m} = \frac{H}{10D} C_{k,d,m} \quad \text{pour } \frac{H}{D} < 10 \quad (7)$$

En outre lorsqu'un pieu rentre à une certaine profondeur  $h$  dans une couche pulvérulente, recouverte par une couche cohérente, aussi longtemps que  $\frac{h}{D} < 10$ , il faut aussi appliquer à la valeur  $C_{k,d,m}$  le coefficient réducteur  $\frac{h}{10D}$ .

Donc si  $\frac{h}{D} < 10$  on a aussi :

$$C''_{k,d,m} = \frac{h}{10D} C_{k,d,m} \quad (8)$$

Pour  $h = 0$  on trouve  $C''_{k,d,m} = 0$ . D'autre part  $d_g$  doit dans ce cas au moins être égal à la résistance



à la pointe  $C_{k,d,min}$  rencontrée dans la couche médiocre.  
On a donc:

$$d_g = C_{k,d,min} + \frac{h}{10D} (C_{k,d,m} - C_{k,d,min}) \quad (9)$$

On aurait donc pour des pieux battus:

$$d_g = C_{k,d,m} \quad \text{pour } H \geq 10D \quad \text{et } h \geq 10D$$

$$d_g = C'_{k,d,m} \quad \text{pour } H < 10D \quad (10)$$

$$d_g = C_{k,d,min} + \frac{h}{10D} (C_{k,d,m} - C_{k,d,min})$$

pour  $h < 10D$

avec  $H$  = profondeur de la base du pieu sous la surface du sol,

$h$  = profondeur de la base du pieu sous la surface de la couche résistante.

Il faut remarquer que Meyerhof ne traite qu'incidemment des essais de pénétration statiques. Sa méthode réelle est en fait basée sur des énergies de battage, sur des angles de frottement, des compacités relatives, et des accroissements de compacité dues au battage.

Si on néglige toutes ces incidentes, et si on se base uniquement sur les mesures d'essais de pénétration, on aboutit en fait à la méthode simplifiée décrite ci-dessus.

En ce qui concerne le frottement latéral, Meyerhof pose qu'au cas de pieux battus à travers des couches de sable le frottement latéral est le double de celui calculé à partir du frottement au pénétromètre en appliquant la règle de la proportionnalité.

## b. Confrontation avec les essais de l'I.R.A.B.A. [2]

Dans les essais à grande échelle décrits par Kérisel, tous les pieux ont été introduits sous charge statique. On ignore si la méthode préconisée par Meyerhof pour des pieux battus, est aussi valable pour des pieux foncés. Si on suppose que tel est le cas on peut à partir des mesures  $C_{k,d}$  effectuées avec le cône  $\varnothing$  45 mm, prédire par application de la méthode de Meyerhof des valeurs  $d_g$  pour des pieux de plus grandes dimensions. Considérons par exemple le pieu  $\varnothing$  216 mm et plaçons-nous à 1 m de profondeur.

On a:  $D = 21,6 \text{ cm}$        $H = 100 \text{ cm}$

$$\frac{H}{10D} = \frac{100}{10 \times 21,6} = 0,463$$

$$d_g = 0,463 C_{k,d,m}$$

On a:  $1 D = 0,216 \text{ m}$

$$4 D = 4 \times 0,216 = 0,864 \text{ m}$$

On doit donc calculer la valeur moyenne des valeurs  $C_{k,d}$  enregistrées entre  $1 - 0,865 = 0,135 \text{ m}$  et  $1,216 \text{ m}$  de profondeur.

Ces valeurs peuvent être reprises du tableau I.

On a: profondeur

0,20	45
0,40	100
0,60	157
0,80	220
1,00	253
1,20	273

$$C_{k,d,m} = \frac{1048}{6} = 174,7 \text{ kg/cm}^2$$

$$d_g = 0,463 \times 174,7 = 80,9 \text{ kg/cm}^2$$

Au cas où  $4D > H$  nous extrapolons la méthode Meyerhof en adoptant dans la zone fictive située au-dessus de la surface du sol des valeurs  $C_{k,d} = 0$ .

D'autre part, pour autant que cette valeur ne soit pas négligeable, on peut ajouter le terme dû au poids propre des terres refoulées:

$$d_{r,\gamma} = 0,6 V_g \gamma_k D \quad (11)$$

Les calculs ont été effectués pour les pieux  $\varnothing$  110,  $\varnothing$  216 et  $\varnothing$  320 mm et sont consignés en tableau I.

Les résultats de ces calculs sont représentés par les courbes  $A_M B_M C_M$  des figures 10.

On constate que pour les faibles profondeurs les valeurs calculées par la méthode de Meyerhof, non amendée sont inférieures aux valeurs expérimentales tandis que pour des profondeurs intermédiaires elles sont plus élevées. En général on peut considérer que la différence n'est pas considérable.

## B. Méthode amendée

### a. Principe de la méthode

Meyerhof n'a en fait considéré que le cas du passage d'une couche médiocre vers une couche résistante. En réalité on trouve aussi fréquemment le passage d'une couche résistante vers une couche médiocre. Si on applique sans plus la méthode de Meyerhof au cas d'un tel passage, on fait une extension qui n'a pas été voulue par son auteur.

TABLEAU I-a. — Pieu  $\varnothing$  0,110 m. — Essais de l'IRABA.

1	2	3	4		5	6		7	8		9	10	11
			profondeur h	$C_{k,d}$ $\varnothing$ 0,045 m		$d_{g,i} = d_{g,i,1} = d_{g,i,2}$	$d_{g,s}$		$d_g = \frac{d_{g,i,1} + d_{g,i,2}}{2}$	$C_{k,d,m}$			
m	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	12	0	6	4	0	0	0	0	0	0	0	
0,10	24	345	1,33	326	11,5	0,091	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	
0,20	45	60	5,17	326	24,0	0,182	4,37	4,37	3,14	3,14	3,14	2586	35,0
0,30	75	87,5	11,83	683	40,7	0,273	11,11	11,11	7,68	7,68	7,68	1405	6,5
0,40	100	115	21,56	683	62,3	0,364	22,68	22,68	14,91	14,91	14,91	55,38	125
0,50	130	143,5	34,33	1119	88,5	0,455	40,27	40,27	35,20	35,20	35,20	67,45	170
0,60	157	173,5	50,28	1599	116,2	0,545	63,33	63,33	37,70	37,70	37,70	105,87	200
0,70	190	205	69,55	1599	145,3	0,636	92,41	92,41	56,16	56,16	56,16	147,41	230
0,80	220	227,5	92,33	2097	172,0	0,727	125,04	125,04	76,23	76,23	76,23	186,36	242
0,90	235	244	117,61	2097	197,5	0,818	161,56	161,56	97,50	97,50	97,50	199,98	
1,00	253	258	143,38	2097	220,0	0,909	199,98	199,98	120,36	120,36	120,36	205,95	
1,10	263	268	159,89	233,7	239,3	1,000	239,3	239,3	143,40	143,40	143,40	189,06	
1,20	273	276	191,33	233,7	254,2		254,2	254,2	166,02	166,02	166,02		
1,30	279	281,5	212,28	233,7	264,8		264,8	264,8	186,36	186,36	186,36		
1,40	284	285,5	230,78	258,12	273,5		273,5	273,5	205,95	205,95	205,95		

1,50	287	288,5	246,56		279,7	279,7	223,40		
1,60	290	290,5	259,33	268,5	284,0	284,0	239,43	247,47	258
1,70	291	291,5	268,83		287,2	287,2	252,90		
1,80	292	292,25	275,94	284,1	289,4	289,4	264,99	275,53	270
1,90	292,5	292,75			290,9	290,9	274,35		
2,00	293	293,25	285,17	289,2	292,0	292,0	281,68	289,88	280
2,10	293,5	293,75			292,7	292,7	285,08		
2,20	294	294,25	289,94	292,1	293,25	293,25	287,96	294	287
2,30	294,5				293,75	293,75	289,91		
2,40	295	295,25	292,39	293,8	294,25	294,25	291,45	295	296
2,50	295,5				294,75	294,75	292,69		
2,60	296	296,25	293,72	294,9	295,25	295,25	293,65	296	300
2,70	296,5				295,75	295,75	294,36		
2,80	297	297,25	294,75	296	296,25	296,25	294,88	297	304
2,90	297,5				296,75	296,75	295,38		
3,00	298	298,25	295,75	297	297,25	297,25	295,88	298	307
3,10	298,5				297,75	297,75	296,38		
3,20	299	299,25	296,75	298	298,25	298,25	296,88	299	310
3,30	299,5				298,75	298,75	297,38		
3,40	300	300,25	297,75	299	299,25	299,25	297,88	300	312
3,50	300,5				299,75	299,75	298,38		
3,60	301	301,25	298,75	300	300,25	300,25	298,88	301	313
3,70	301,5				300,75	300,75	299,38		

380	302	302,25	299,75	301	301,25	301,25	299,88	302	314
390	302,5				301,75	301,75	300,38		
4,00	303	303,25	300,75	302	302,25	302,25	300,88	303	315
4,10	303,5				302,75	302,75	301,38		
4,20	304	304,25	301,75	303	303,25	303,25	301,88	304	317
4,30	304,5				303,75	303,75	302,38		
4,40	305	305,25	302,75	304	304,25	304,25	302,88	305	319
4,50	305,5				304,75	304,75	303,38		
4,60	306	306,25	303,75	305	305,25	305,25	303,88	306	321
4,70	306,5				305,75	305,75	304,38		
4,80	307	307,25	304,75	306	306,25	306,25	304,88	307	323
4,90	307,5				306,75	306,75	305,38		
5,00	308	308,25	305,75	307	307,25	307,25	305,88	308	325
5,10	308,5				307,75	307,75	306,38		
5,20	309	309,25	306,75	308	308,25	308,25	306,88	309	327
5,30	309,5				308,75	308,75	307,38		
5,40	310	310,25	307,75	309	309,25	309,25	307,88	310	329
5,50	310,5				309,75	309,75	308,38		
5,60	311	311,25	308,75	310	310,25	310,25	308,88	311	331
5,70	311,5				310,75	310,75	309,38		
5,80	312	312,25	309,75	311	311,25	311,25	309,88	312	333
5,90	312,5				311,75	311,75	310,38		
6,00	313	313,25	310,75	312			310,88	313	335

TABLEAU 1-b. — Pieu  $\varnothing$  0,216 m. — Essais de l'IRABA.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
profon- deur h	$C_{k,d}$ $\varnothing 0,045$ m	méthode L.G.M.			méthode MEYERHOF				méthode R.I.G.	valeurs experi- mentales
		$d_{g,i} =$ $d_{g,i-1} + d_{g,i-2}$	$d_{g,i}$	$d_g =$ $\frac{d_{g,i-1} + d_{g,i}}{2}$	non amendée		amendée			
					$C_{k,d,m}$	$\frac{H}{10D}$	$d_g =$ $C_{k,d,m} \times \frac{H}{10D}$	$d_g$		
m	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	22,5	0	11,25	7,5	0	0	0		
0,20	45	72,5	2,5	37,5	24,2	0,093	2,25	2,25	20,28	26
0,40	100	128,5	10,6	69,6	50,3	0,185	9,21	6,72	29,74	35
0,60	157	188,5	24,8	106,7	87,0	0,278	24,19	16,54	33,66	46
0,80	220	236,5	45,8	144,2	129,2	0,370	47,80	31,49	37,67	60
1,00	253	263	72,1	167,6	174,7	0,463	80,89	52,03	51,73	75
1,20	273	278,5	101,3	189,9	214,5	0,556	119,26	77,10	63,30	98
1,40	284	287	132,2	209,6	246,2	0,648	159,54	102,96	76,91	125
1,60	290	291	164,1	227,6	268,7	0,741	199,11	129,63	93,35	160
1,80	292	292,5	196,4	244,5	280,8	0,833	233,91	154,86	113,59	195
2,00	293	293,5	226,4	260,0	287,7	0,926	266,41	176,64	139,24	225
2,20	294	294,5	251,0	272,8	291,3	1,000	281,30	197,88	171,73	245
2,40	295	295,5	269,4	282,5	293,3		293,30	216,03	205,67	264
2,60	296	296,5	284,3	288,9	294,5		294,5	232,82	233,66	277
2,80	297	297,5	288,0	292,8	295,5		295,5	247,64	255,36	290
3,00	298	298,5	291,8	295,2	296,5		296,5	261,03	272,54	300
3,20	299	299,5	294,1	296,8	297,5		297,5	272,02	285,34	308
3,40	300	300,5	295,1	298	298,5		298,5	281,77	295,03	316
3,60	301	301,5	296,5	299	299,5		299,5	288,55	309,94	321
3,80	302	302,5	297,5	300	300,5		300,5	294,81	302	326
4,00	303	303,5	298,6	301	301,5		301,5	298,82	303	328
4,20	304	304,5	299,5	302	302,5		302,5	300,82	304	330
4,40	305	305,5	300,5	303	303,5		303,5	301,82	305	332
4,60	306	306,5	301,5	304	304,5		304,5	302,82	306	335
4,80	307	307,5	302,5	305	305,5		305,5	303,82	307	337
5,00	308	308,5	303,5	306	306,6		306,6	304,82	308	340
5,20	309	309,5	304,5	307	307,5		307,5	305,82	309	342
5,40	310	310,5	305,5	308	308,5		308,5	306,82	310	344
5,60	311	311,5	306,5	309	309,5		309,5	307,82	311	346
5,80	312	312,5	307,5	310	310,5		310,5	308,82	312	348
6,00	313	313,5	308,5	311					313	350

TABLEAU I-c. — Pieu Ø 0,320 m. — Essais de l'IRABA.

1	2	3			4		5		6		7		8		9		10		11	
		profon- deur h	$C_{kd}$ $\phi 0,045\text{ m}$	méthode L.G.M.			méthode MEYERHOF						méthode R.I.G.		valeurs experi- mentales					
				$d_{g,i} =$ $d_{g,i,1} = d_{g,i,2}$	$d_{g,s}$	$d_g =$ $\frac{d_{g,i,1} + d_{g,s}}{2}$	$C_{k,d,m}$	$\frac{H}{10D}$	$d_g =$ $C_{k,d,m} \times \frac{H}{10D}$	$d_g$	$d_g$	$d_g$	$d_g$							
m	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>		
0	0	22,5	0	11,25	16,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,20	45	72,5	1,73	37,12	33,6	0,063	2,41	2,41	18,49	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
0,40	100	128,5	7,31	67,91	58,0	0,125	7,25	5,63	25,88	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
0,60	157	188,5	17,20	102,85	86,41	0,188	16,19	12,22	27,26	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
0,80	220	236,5	31,09	134,10	116,44	0,250	29,11	20,90	29,79	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
1,00	253	263	49,82	156,44	148,0	0,313	46,32	32,67	41,73	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
1,20	273	278,5	70,11	174,31	180,22	0,375	67,58	47,03	49,54	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
1,40	284	287	91,54	189,27	212,67	0,438	93,15	63,62	57,69	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103
1,60	290	291	113,62	202,31	240,22	0,500	120,11	84,89	67,03	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127
1,80	292	292,5	136,0	214,25	264,78	0,563	147,38	100,19	77,83	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155
2,00	293	293,5	158,5	226,0	277,11	0,625	173,19	118,56	90,37	177	177	177	177	177	177	177	177	177	177	177
2,20	294	294,5	181,08	237,79	285,56	0,688	196,47	135,81	104,42	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196
2,40	295	295,5	203,73	249,61	294,44	0,750	217,83	151,15	120,43	212	212	212	212	212	212	212	212	212	212	212
2,60	296	296,5	226,38	261,44	293,22	0,813	238,39	166,41	139,31	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224	224
2,80	297	297,5	247,54	272,52	294,89	0,875	258,03	184,23	161,18	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234
3,00	298	298,5	269,85	284,68	296	0,938	277,65	194,58	184,92	243	243	243	243	243	243	243	243	243	243	243
3,20	299	299,5	277,92	288,71	297	1,000	297	207,92	207,74											
3,40	300	300,5	286,46	293,48	298		298	220,26	228,26											
3,60	301	301,5	291,38	296,44	299		299	234,92	245,66											
3,80	302	302,5	294,35	298,43	300		300	242,77	260,41											
4,00	303	303,5	296,19	299,85	301		301	253,07	272,92											
4,20	304	304,5	297,46	300,98	302		302	261,81	283,54											
4,40	305	305,5	298,5	302	303		303	269,76	292,55											
4,60	306	306,5	299,5	303	304		304	277,12	300,20											
4,80	307	307,5	300,5	304	305		305	283,21	305,54											
5,00	308	308,5	301,5	305	306		306	289,1	308,68											
5,20	309	309,5	302,5	306	307		307	294,17	309											
5,40	310	310,5	303,5	307	308		308	298,66	310											
5,60	311	311,5	304,5	308	309		309	302,63	311											
5,80	312	312,5	305,5	309				305,96	312											
6,00	313	313,5	306,5	310				308,93	313											

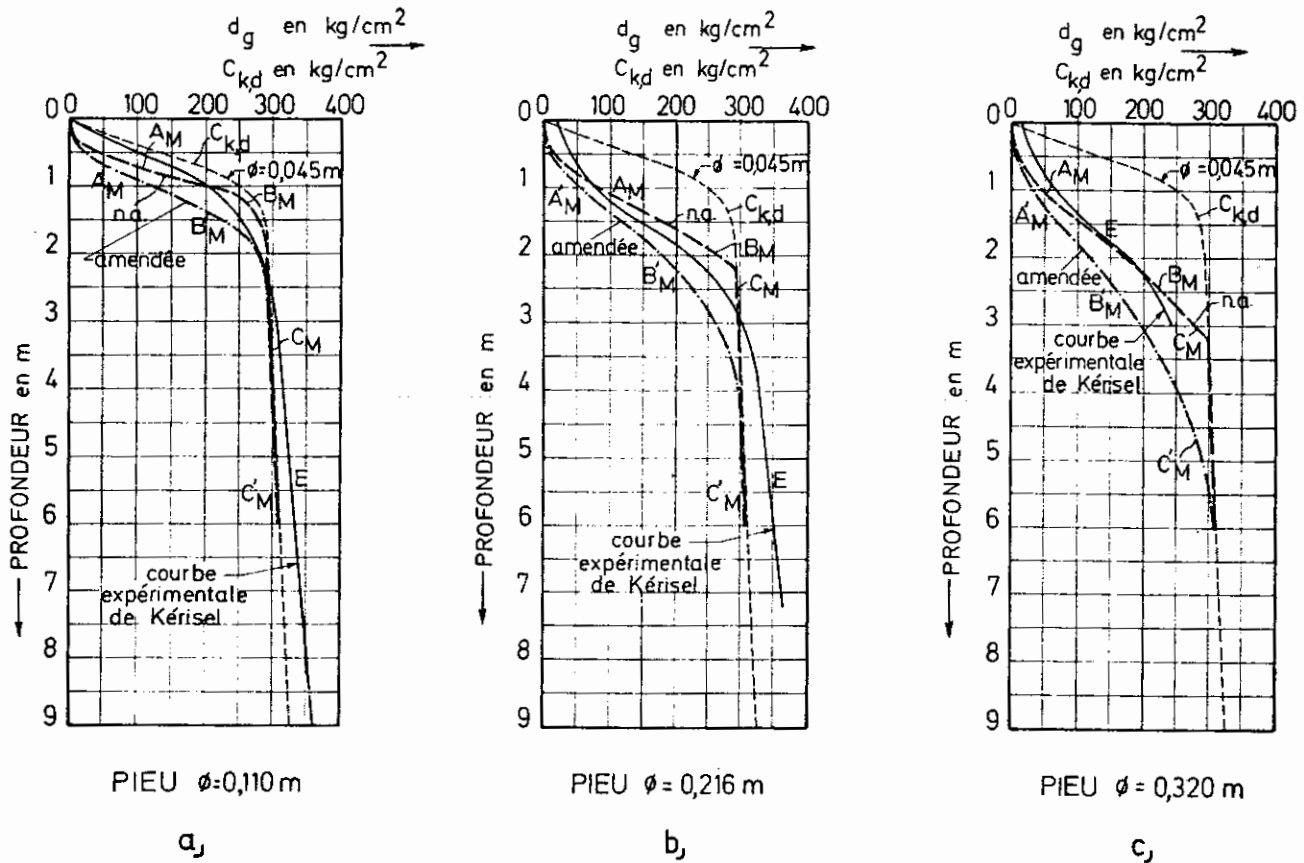


Fig. 10.

Courbes E: valeurs expérimentales.  
 Courbes A<sub>M</sub> B<sub>M</sub> C<sub>M</sub>: valeurs obtenues avec la méthode de Meyerhof non amendée.  
 Courbes A'<sub>M</sub> B'<sub>M</sub> C'<sub>M</sub>: valeurs obtenues avec la méthode de Meyerhof amendée.

Afin de la rendre plus ou moins applicable dans ce dernier cas, nous y apportons la modification suivante: on calcule la moyenne  $C_{k,d,m,s}$  des valeurs de  $C_{k,d}$  sur 4 D au-dessus de la base, et la moyenne  $C_{k,d,m,i}$  sur 1 D au-dessous de cette base.

Comme en fait d'après Meyerhof, si la profondeur  $h$  de la base sous la surface de la couche résistante est inférieure à 10 D, il faut réduire  $C_{k,d,m}$  par le facteur  $\frac{h}{10D}$ , il faut évidemment encore réduire plus fortement  $C_{k,d,m}$  lorsque la base se trouve dans une couche dont les caractéristiques sont médiocres par rapport à celles des couches qui la surmontent. Il semble donc logique d'admettre que si  $C_{k,d,m,s} > C_{k,d,m,i}$  il faut rabattre la valeur  $C_{k,d,m,s}$  à  $C_{k,d,m,i}$ .

Donc si  $C_{k,d,m,s} > C_{k,d,m,i}$   
 on prend  $C_{k,d,m}^{(a)} = C_{k,d,m,i}$ .

Par contre si  $C_{k,d,m,i} > C_{k,d,m,s}$  on calcule la valeur moyenne  $C_{k,d,m}$  telle que préconisée par Meyerhof.

D'autre part il faut encore tenir compte de la relation (9) incluant un coefficient de minoration lorsque la base se trouve à une profondeur  $h < 10 D$  dans une couche résistante.

Pour appliquer la relation (9) dans une couche à composition très hétérogène, nous appliquons la formule (9) comme suit (fig. 11).

La formule (9) s'écrit:

$$d_g = C_{k,d,\min} + \frac{h}{10D} (C_{k,d,m} - C_{k,d,\min}) \quad (9)$$

Si à une distance 10 D au-dessus du niveau de la base on trouve des niveaux moins résistants  $C_{k,d,\min,1}$ ,  $C_{k,d,\min,2}$ , etc. respectivement à des distances  $h_{1,s}$ ,  $h_{2,s}$  au-dessus de la base, on calcule successivement:

$$d_{g,1} = C_{k,d,\min,1} + \frac{h_{1,s}}{10D} (C_{k,d,m} - C_{k,d,\min,1}) \quad (12)$$

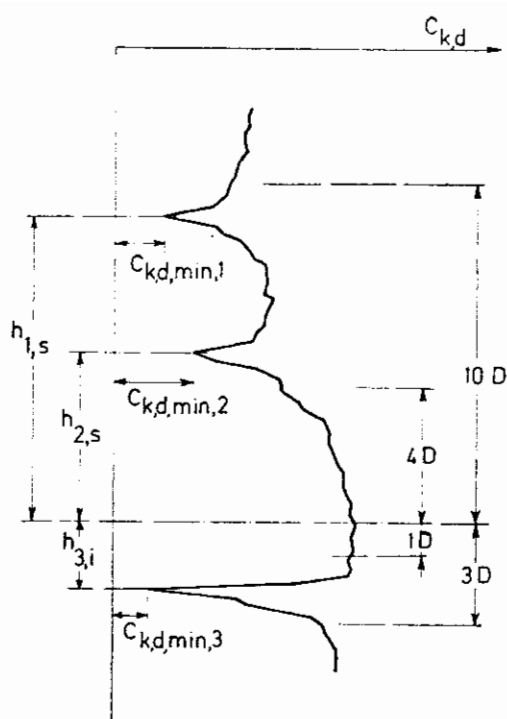


Fig. 11.

$$d_{g,2} = C_{k,d,min,2} + \frac{h_{2,s}}{10D} (C_{k,d,m} - C_{k,d,min,2})$$

et on retient la plus petite des valeurs ainsi calculées.

Dans les formules (12),  $C_{k,d,m}$  est la valeur moyenne entre  $4D$  au-dessus, et  $1D$  au-dessous comme défini par Meyerhof.

Finalement, Meyerhof n'a pas considéré le cas, où à une profondeur relativement faible sous le niveau de la base, on trouve une inclusion moins résistante.

Remarquons que Meyerhof calcule la moyenne en considérant au-dessus de la base les valeurs  $C_{k,d}$  sur une épaisseur  $4D$ , tout en admettant que le pieu doit pénétrer d'une profondeur de  $10D$  dans une couche résistante, pour avoir le plein effet de profondeur; ceci amène à un rapport:

$$\frac{10D}{4D} = 2,5.$$

D'autre part pour calculer la valeur moyenne  $C_{k,d,m}$ , Meyerhof considère au-dessous de la base une épaisseur  $1D$ . En admettant le même rapport 2,5, on doit donc conclure que des inclusions de faible résistance, situées au-dessous de la base du pieu, peuvent encore avoir une influence si elles se trouvent

à moins de  $2,5 \times 1D = 2,5D$  au-dessous de la base. Par précaution nous augmenterons cette valeur à  $3D$ .

Si à des profondeurs  $h < 3D$  nous trouvons des niveaux moins résistants, nous calculons dès lors des valeurs  $d_g$  par la formule:

$$d_g = C_{k,d,min} + \frac{h_i}{3D} (C_{k,d,m} - C_{k,d,min}) \quad (13)$$

Ainsi au cas de la figure 11:

$$d_g = C_{k,d,min,3} + \frac{h_{3,i}}{3D} (C_{k,d,m} - C_{k,d,min,3})$$

S'il y a différentes inclusions sur l'épaisseur  $3D$  on fera différents calculs, et on retiendra la valeur minimum de  $d_g$ .

Remarquons que si nous maintenons sans plus les formules (12) et (13) nous admettons implicitement qu'au niveau des inclusions moins résistantes la capacité portante limite  $d_g$  du pieu est égale à  $C_{k,d,min}$  ce qui n'est pas nécessairement le cas.

Pour obvier à cette inconsistance, il suffit de remplacer dans les formules (12) et (13)  $C_{k,d,min}$  par la valeur:

$$d'_{g,min,v} = \frac{H}{10D} (C_{k,d,m}^{(a)})_{min} \quad \text{là où } \frac{H}{10D} < 1 \quad (14)$$

$$d'_{g,min,v} = (C_{k,d,m}^{(a)})_{min} \quad \text{là où } \frac{H}{10D} \geq 1 \quad (15)$$

$H$  étant la profondeur sous la surface du sol.

On a donc:

si  $h_{s,v} < 10D$

$$d_{g,v} = d'_{g,min,v} + \frac{h_{s,v}}{10D} (C_{k,d,m}^{(a)} - d'_{g,min,v}) \quad (16)$$

si  $h_{i,\mu} < 3D$

$$d_{g,\mu} = d'_{g,min,\mu} + \frac{h_{i,\mu}}{3D} (C_{k,d,m}^{(a)} - d'_{g,min,\mu}) \quad (17)$$

La notation  $v$  est un  $n^\circ$  d'ordre pour tous les niveaux trouvés sur la hauteur  $10D$  au-dessus du niveau considéré où on désire calculer  $d_g$ , et auxquels on a  $d'_{g,min,v} < C_{k,d,m}$ .

La notation  $\mu$  est un  $n^\circ$  d'ordre pour tous les niveaux trouvés sur l'épaisseur  $3D$  au-dessous du niveau où l'on désire calculer  $d_g$ , et auxquels on a  $d'_{g,min,v} < C_{k,d,m}^{(a)}$ .

$$\text{Si } C_{k,d,m,i} < C_{k,d,m,s} \text{ on a } C_{k,d,m}^{(a)} = C_{k,d,m,i} \quad (18)$$



Si  $C_{k,d,m,i} > C_{k,d,m,s}$  on calcule  $C_{k,d,m}$  par

$$C_{k,d,m}^{(a)} = \frac{\sum_{-D}^{+4D} C_{k,d}}{n_s + n_i} \quad (19)$$

$n_s$  = nombre de lectures entre 0 et 4 D au-dessus du niveau considéré;

$n_i$  = nombre de lectures entre 0 et 1 D au-dessous du niveau considéré.

On doit donc commencer par calculer systématiquement les valeurs  $C_{k,d,m}^{(a)}$ , et ensuite les valeurs:

$$d'_g = \frac{H}{10D} C_{k,d,m}^{(a)} \quad \text{pour} \quad \frac{H}{10D} < 1$$

On trouve ainsi les niveaux où les valeurs de  $d'_g$  passent par un minimum.

Connaissant ces niveaux et les  $d'_g$  correspondants, on peut à un niveau quelconque déterminer les valeurs  $d_{g,v}$  et  $d_{g,\mu}$  grâce aux formules (16) et (17).

La valeur de  $d_g$  au niveau considéré est finalement la plus petite de toutes les valeurs  $d_{g,v}$  et  $d_{g,\mu}$  calculées.

#### b. Application de la méthode de Meyerhof amendée aux essais de l'I.R.A.B.A.

Dans les essais de l'I.R.A.B.A. les valeurs de  $C_{k,d}$  sont continuellement croissantes. On a dès lors  $C_{k,d,m,i} > C_{k,d,m,s}$ , de sorte que  $C_{k,d,m}$  est donnée par la formule (19); ceci signifie que dans le cas de l'I.R.A.B.A. les valeurs de  $C_{k,d,m}$  sont identiques aux valeurs de la méthode de Meyerhof non amendée.

Les valeurs  $d'_{g,\min}$  sont données par (14) soit:

$$d'_{g,\min} = \frac{H}{10D} (C_{k,d,m}^{(a)})_{\min} \quad \text{là où} \quad \frac{H}{10D} < 1$$

$$d'_{g,\min} = (C_{k,d,m}^{(a)})_{\min} \quad \text{là où} \quad \frac{H}{10D} \geq 1.$$

Dans le cas de l'I.R.A.B.A., ces valeurs correspondent aux valeurs de  $d_g$ , trouvées avec la méthode non amendée. Ces valeurs se trouvent à la colonne 8 des tableaux I.

A titre d'exemple considérons le pieu  $\varnothing$  216 mm et plaçons-nous à 1 m de profondeur.

Nous y avons:

$$C_{k,d,m} = 174,7 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{colonne 6}).$$

Nous avons des valeurs  $d'_{g,\min,v}$  inférieures à  $174,7 \text{ kg/cm}^2$  à tous les niveaux situés au-dessus de 1 m,

et des valeurs  $d'_{g,\min,\mu}$  inférieures à  $174,7 \text{ kg/cm}^2$  jusque 1,40 m de profondeur.

$$10 D = 10 \times 0,216 = 2,16 \text{ m}$$

$$3 D = 3 \times 0,216 = 0,648 \text{ m}$$

v	$h_{s,v}$	$\frac{h_{s,v}}{10D}$	$d'_{g,\min,v}$	$d_{g,v}$
	m		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1	0	0	80,89	80,89
2	0,20	0,093	47,80	59,60
3	0,40	0,185	24,19	52,03
4	0,60	0,278	9,31	55,28
5	0,80	0,370	2,25	66,06
6	1,00	0,463	0	80,89
$\mu$	$h_{s,\mu}$	$\frac{h_{s,\mu}}{3D}$	$d'_{g,\min,\mu}$	$d_{g,\mu}$
	m		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
1	0	0	80,89	80,89
2	0,20	0,309	119,26	136,39
3	0,40	0,618	159,54	168,91

Donc la valeur de  $d_g$  à 1,00 m de profondeur est finalement égale à  $52,03 \text{ kg/cm}^2$ .

Des calculs analogues ont été effectués à toutes les profondeurs. Les résultats en sont consignés aux tableaux I dans la colonne 9. Les résultats sont aussi représentés par les courbes  $A'_M$ ,  $B'_M$ ,  $C'_M$  de la figure 10.

#### IV. METHODE BASEE SUR DES CONSIDERATIONS DES LOIS DE SIMILITUDE

##### a. Description de la méthode

Dans la publication [4], nous avons indiqué comment à partir de l'accroissement quasi linéaire souvent constaté au passage d'une couche médiocre vers une couche résistante, on pouvait introduire d'une façon relativement facile, l'effet d'échelle, pour passer du diagramme des résistances à la pointe  $C_{k,d}$  aux valeurs de la capacité portante de rupture unitaire  $d_g$  d'un pieu de diamètre D.

Cependant dans beaucoup de cas le diagramme  $C_{k,d}$  a une allure fortement tourmentée, qui rend alors l'application du procédé simple malaisée sinon impossible.

Il y a donc lieu de tâcher de raffiner la méthode pour la rendre applicable quelle que soit l'allure du diagramme  $C_{k,d}$ .

Au cours de l'exposé la nouvelle méthode décrite sera indiquée par le symbole R.I.G.

a-1: Valeur de l'angle de frottement apparent

Dans la méthode on utilisera la notion d'angle de frottement apparent. Il faut donc d'abord indiquer comment cet angle est défini et peut être calculé [9] [10].

L'enfoncement du cône du pénétromètre est dû, soit à un refoulement, soit à un phénomène de compactage avec ou sans écrasement de grains, soit par une combinaison de ces 2 phénomènes. En fait l'enfoncement se fera pour la combinaison qui exige un minimum d'énergie. Si nous introduisons dès lors la valeur réellement mesurée  $C_{k,d}$  dans une formule basée sur l'hypothèse d'un refoulement pur, et dans laquelle interviennent les paramètres de cisaillement du matériau, on obtiendra à partir d'une telle formule des valeurs de ces paramètres qui sont situés du côté de la sécurité.

Si l'on suppose que la courbe intrinsèque d'un matériau pulvérulent est composée de 2 droites d'angles  $\varphi$  et  $\varphi'$  (fig. 12) dont le point d'intersection a une abscisse correspondant à la contrainte naturelle  $p_b$ , on peut écrire la relation:

$$C_{k,d} = V''_{b,d} p_b \quad (20)$$

avec  $V''_{b,d} =$

$$= 1.3 \left\{ \left[ e^{2\pi \cdot 18^\circ} \cdot \text{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2} \right) - 1 \right] \frac{\text{tg} \varphi'}{\text{tg} \varphi} + 1 \right\} \quad (21)$$

$p_b$  = contrainte naturelle à la profondeur considérée.

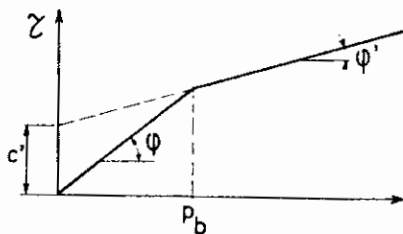


Fig. 12.

Si l'on se donne  $\varphi = 30^\circ$ , les relations (20) et (21) permettent de calculer l'angle de frottement apparent  $\varphi'$  à partir de la valeur  $C_{k,d}$ .

Si on trouve  $\varphi' > \varphi$ , on aboutit à une impossibilité physique. On pose alors  $\varphi' = \varphi$  d'où:

$$C_{k,d} = V_{b,d} p_b \quad (22)$$

$$V_{b,d} = 1,3 e^{2\pi \cdot 18^\circ} \text{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (23)$$

La figure 13 donne les valeurs de  $V''_{b,d}$  ( $\varphi = 30^\circ$ ) en fonction de  $\varphi'$ , et celles de  $V_{b,d}$  en fonction de  $\varphi$ .

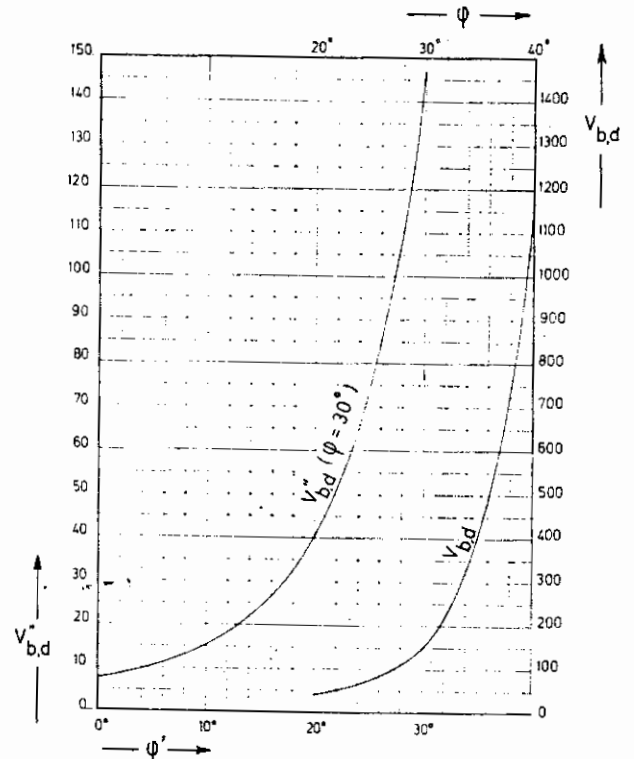


Fig. 13.

Les valeurs de  $\varphi$  et  $\varphi'$  ainsi calculées sont inférieures aux valeurs réelles et cela d'autant plus que l'influence de la densification du sol dans le phénomène d'enfoncement du cône est considérable.

Pour le cas du sable de Loire, très compact, utilisé dans les essais de l'I.R.A.B.A. et à partir des essais avec le cône  $\varnothing 45$  mm, on déduit les valeurs  $\varphi = \varphi'$  indiquées au tableau II. Pour le calcul de  $p_b$  on a adopté  $\gamma_d = 1.8 \text{ t/m}^3$ .

a-2: Influence de la profondeur critique

Pour être dans le cas d'une fondation profonde, il faut que la base du pieu se trouve à une profondeur suffisante au-dessous de la surface du sol, et au-dessous de la surface de la couche résistante surmontée par

des couches médiocres. La profondeur à partir de laquelle on a affaire à une fondation profonde s'appelle la profondeur critique:  $h_{crit}$ .

Toutes autres conditions égales c'est au cas du refoulement pur que correspond la valeur maximum de  $h_{crit}$ ; l'influence de la densification dans le phénomène de l'enfoncement aura pour effet de diminuer la valeur de  $h_{crit}$ .

La valeur de  $h_{crit}$  a été étudiée par Meyerhof, au cas du refoulement pur et du problème à 2 dimensions [11]. Nous tenons déjà indirectement compte de l'influence de la densification, en introduisant dans la formule de Meyerhof non l'angle de frottement réel, mais bien l'angle de frottement apparent  $\varphi'$ .

Au cas d'un problème plan (2 dimensions), il existe entre la profondeur  $h$  de la fondation, sa largeur  $b$  et l'angle  $\beta$ , défini à la figure 14, la relation:

$$\left(\frac{h}{b}\right)_2 = \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2} \right) e^{2 \operatorname{tg} \varphi'} \sin \beta e^{\beta \operatorname{tg} \varphi'} \quad (24)$$

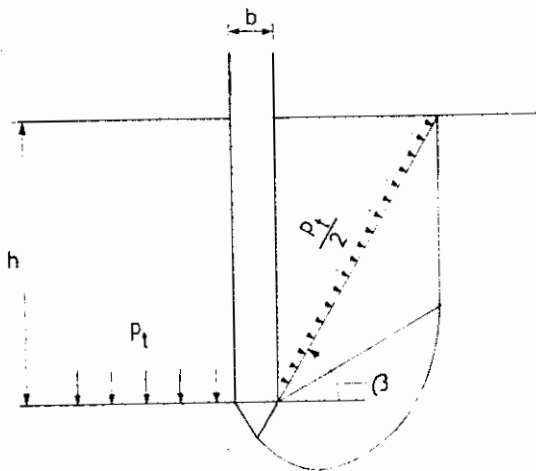


Fig. 14.

La formule (24) vaut pour le cas  $m = 0$  [11] [8].

La relation (24) peut s'écrire:

$$\beta = f \left( \varphi', \frac{h}{b} \right) \quad (25)$$

On obtient une fondation profonde lorsque:

$$\beta = \frac{\pi}{2}$$

La fonction  $\beta = f \left( \varphi', \frac{h}{b} \right)$  est donnée à la figure 15.

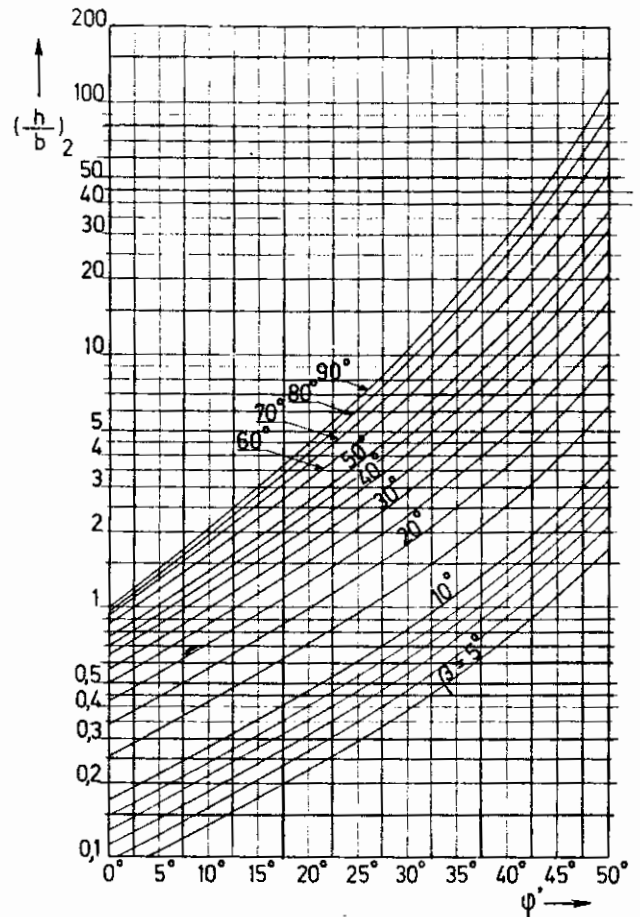
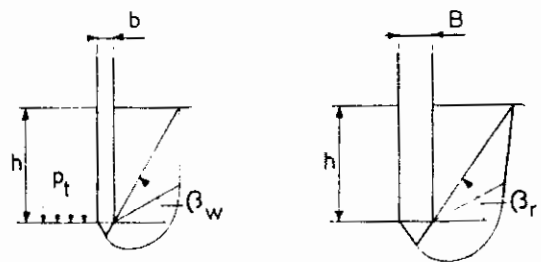


Fig. 15.

Cette figure donne  $\frac{h}{b}$  en fonction de l'angle  $\varphi'$  avec l'angle  $\beta$  comme paramètre. Cette figure vaut pour le cas plan et  $m = 0$ .

Supposons (fig. 16) des charges filantes de largeur  $b$  et  $B$  établies à une profondeur  $h$ , où existe la contrainte primitive  $p_t$ . On a alors d'après Meyerhof:



$$h < h_{crit,w} < h_{crit,r}$$

Fig. 16.

# TABLEAU II

( pour les problèmes à 2 dimensions )

10	11	12a	12b	12c	13	14	15	16a	16b	16c	17	18	19
		PIEU $\phi = 0,216$ m						PIEU $\phi = 0,320$ m					
		$\beta_P$						$\beta_P$					
$g^{(2)}$	$d_g^{(2)}$	$\frac{h}{D}$	$\beta_P$	$\beta_P$	$d_g^{(2)}$	$d_g^{(2)}$	$d_g^{(2)}$	$\frac{h}{D}$	$\beta_P$	$\beta_P$	$d_g^{(2)}$	$d_g^{(2)}$	$d_g^{(2)}$
n. (54)	form. (55)		(voir fig. 15)		form. (53)	form. (54)	form. (55)		(voir fig. 15)		form. (53)	form. (54)	form. (55)
l/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>		degrés	radians	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>		degrés	radians	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0,93	6°15'	0,11	27,20			0,63	4°	0,07	25,43		
		1,85	11°	0,19	45,58			1,25	8°	0,14	41,85		
		2,78	15°30'	0,27	56,34			1,88	11°	0,19	49,14		
		3,70	19°	0,33	67,45			2,50	13°45'	0,24	57,68		
		4,63	23°	0,40	68,35			3,13	17°	0,30	52,56		
		5,56	27°	0,47	52,71			3,75	20°30'	0,36	43,83		
3,55		6,48	31°30'	0,55		48,84		4,38	23°	0,40		37,96	
0,89		7,41	35°	0,61		49,38		5,00	26°	0,45		37,94	
2,73		8,33	39°30'	0,69		52,88		5,63	30°	0,52		40,15	
7,00		9,26	44°	0,77		57,18		6,25	33°	0,59		42,95	
0,32		10,19	48°30'	0,85		63,24		6,88	37°	0,65		46,27	
6,15		11,11	53°	0,93		70,15		7,50	40°30'	0,71		50,04	
	197,99	12,04	56°	0,98		74,45		8,13	42°30'	0,74		51,51	
	208,51	12,96	62°	1,08		85,64		8,75	46°	0,80		56,76	
	227,28	13,89	67°	1,17		97,17		9,38	50°	0,87		62,33	
	227,63	14,81	70°	1,22		103,82		10,00	52°30'	0,92		66,60	
	237,45	15,74	78°	1,36		126,56		10,63	57°	0,99		73,92	
	245,29	16,67	83°	1,45		143,12		11,25	61°	1,06		82,05	
	249,40	17,59	86°	1,50		153,18		11,88	64°	1,12		89,08	
	255,86	18,52	90°	1,57			178,61	12,50	69°	1,20		99,98	
	259,19	19,44	90°	1,57			185,75	13,13	72°	1,26		108,55	
	262,29	20,37	90°	1,57			192,28	13,75	75°	1,31		116,27	
	267,46						204,29	14,38	80°	1,40		131,71	
	270,08						209,56	15,00	83°	1,45		141,03	
	272,56						214,47	15,63	86°	1,50		151,05	
	276,40						222,97	16,25	90°	1,57			170,66
	278,59						227,11	16,88	90°	1,57			176,72
	280,63						237,01	17,50	90°	1,57			182,39
	284,46						239,32	18,13	90°	1,57			195,14
	286,35						242,67	18,75	90°	1,57			199,97

Essais de l'Iraba (Application des formules de  $\gamma$ )

1	2	3	4	5a 5b 5c			6	7	8a 8b 8c			$\phi =$
profondeur $h$	$C_{k,d}$	$P_t$ <small>(<math>\gamma_k = 18t/m^3</math>)</small>	$\varphi$	$\beta_c$			$(\frac{h}{b})_{crit}^{(2)}$ <small>(<math>\beta_c = 30^\circ</math>)</small>	$h_{crit}$	PIEU			$a$ <small>form.</small>
				$\frac{h}{d}$ <small>(<math>d = 0,045m</math>) (voir fig. 15)</small>	$\beta_c$	$\beta_c$			$\beta_p$			
									$\frac{h}{D}$	$\beta_p$	$\beta_p$	
m	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>3</sup>	degrés		degrés	radians		m		degrés	radians	kg,
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,20	45	0,36	40°	4,44	23°30'	0,41			1,82	11°15'	0,20	3
0,40	100	0,72	40°30'	8,89	37°30'	0,65			3,64	19°30'	0,34	5
0,60	157	1,08	40°30'	13,33	50°	0,87			5,45	26°30'	0,46	7
0,80	220	1,44	41°	17,77	58°	1,01			7,27	31°30'	0,55	9
1,00	253	1,70	40°30'	22,22	70°	1,22			9,09	38°	0,66	9
1,20	273	2,16	40°	26,66	83°	1,45			10,91	45°	0,79	9
1,40	284	2,52	40°	31,11	90°	1,57	28,5	1,33	12,73	50°	0,87	
1,60	290	2,88	39°30'	35,55	90°	1,57	28,2	1,27	14,55	56°	0,98	
1,80	292	3,24	39°				26,8	1,21	16,36	63°	1,10	
2,00	293	3,60	38°30'				25,2	1,13	18,18	70°	1,22	
2,20	294	3,96	38°				24,0	1,08	20,00	78°	1,36	
2,40	295	4,32	37°30'				22,6	1,02	21,82	87°30'	1,53	
2,60	296	4,68	37°30'				22,6	1,02	23,64	90°	1,57	
2,80	297	5,04	37°				21,4	0,96	25,45	90°	1,57	
3,00	298	5,40	36°30'				20,3	0,91				
3,20	299	5,76	36°30'				20,3	0,91				
3,40	300	6,12	36°				19,2	0,86				
3,60	301	6,48	35°30'				18,2	0,82				
3,80	302	6,84	35°30'				18,2	0,82				
4,00	303	7,20	35°				17,4	0,78				
4,20	304	7,56	35°				17,4	0,78				
4,40	305	7,92	35°				17,4	0,78				
4,60	306	8,28	34°30'				16,5	0,74				
4,80	307	8,64	34°30'				16,5	0,74				
5,00	308	9,00	34°30'				16,5	0,74				
5,20	309	9,36	34°				15,7	0,71				
5,40	310	9,72	34°				15,7	0,71				
5,60	311	10,08	34°				15,7	0,71				
5,80	312	10,44	33°30'				14,9	0,67				
6,00	313	10,80	33°30'				14,9	0,67				

$$C_{w,d} = e^{2\left(\frac{\pi}{2} + \beta_w\right) \text{tg } \varphi'} \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) \cdot \frac{p_t}{2} \quad (26)$$

$$d_g = e^{2\left(\frac{\pi}{2} + \beta_r\right) \text{tg } \varphi'} \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) \frac{p_t}{2} \quad (27)$$

d'où:

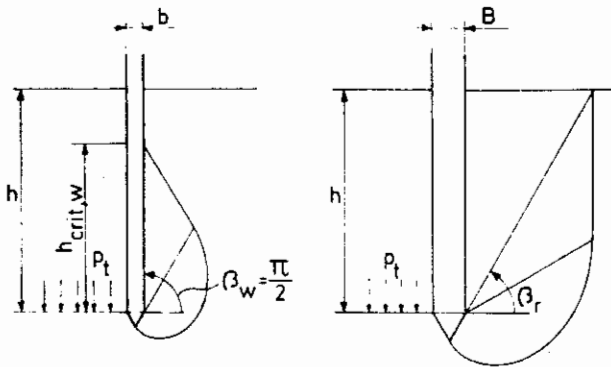
$$d_g = \frac{C_{w,d}}{e^{2(\beta_w - \beta_r) \text{tg } \varphi'}} \quad (28)$$

L'indice w concerne la petite semelle, et l'indice r la grande semelle. La relation (28) est valable aussi longtemps que:

$$h < h_{\text{crit},w} \quad (29)$$

Si  $h_{\text{crit},r} > h \geq h_{\text{crit},w}$  on a:

$$\beta_w = \frac{\pi}{2} \text{ (fig. 17) et } \beta_r < \frac{\pi}{2} \quad (30)$$



$$h_{\text{crit},w} \leq h \leq h_{\text{crit},r}$$

Fig. 17.

et d'après Meyerhof:

$$C_{w,d} = e^{2\pi \text{tg } \varphi'} \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) \frac{p_t + p_t - \gamma_k h_{\text{crit},w}}{2} \quad (31)$$

$$d_g = e^{2\left(\frac{\pi}{2} + \beta_r\right) \text{tg } \varphi'} \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) \frac{p_t + 0}{2} \quad (32)$$

$$d_g = \frac{C_{w,d}}{e^{2\left(\frac{\pi}{2} - \beta_r\right) \text{tg } \varphi'}} \frac{1}{2} \frac{p_t}{p_t - \gamma_k \frac{h_{\text{crit},w}}{2}} \quad (33)$$

Pour le cas  $h = h_{\text{crit},w}$  on obtient:

$$p_t = \gamma_k h_{\text{crit},w} \quad (34)$$

et donc:

$$d_g = \frac{C_{w,d}}{e^{2\left(\frac{\pi}{2} - \beta_r\right) \text{tg } \varphi'}} \quad (35)$$

Enfin si  $h > h_{\text{crit},r}$ , on a (fig. 18):

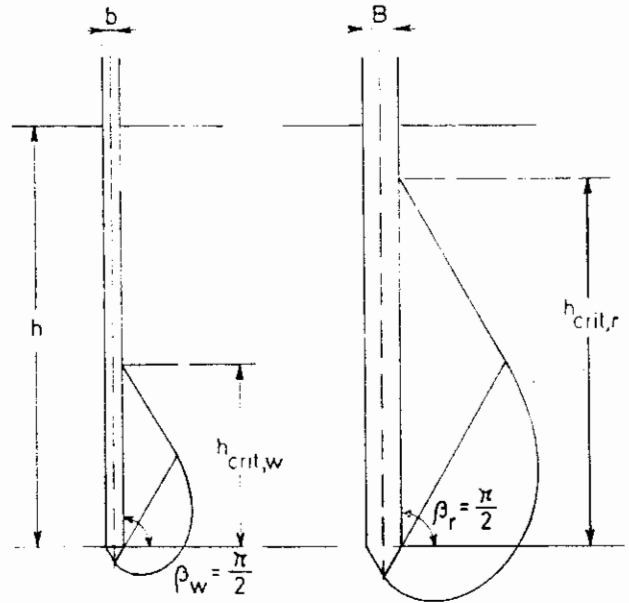


Fig. 18.

$$C_{w,d} = e^{2\pi \text{tg } \varphi'} \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) \left(p_t - \frac{\gamma_k h_{\text{crit},w}}{2}\right) \quad (36)$$

$$d_g = e^{2\pi \text{tg } \varphi'} \text{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) \left(p_t - \frac{\gamma_k h_{\text{crit},r}}{2}\right) \quad (37)$$

et donc:

$$d_g = C_{w,d} \frac{p_t - \gamma_k \frac{h_{\text{crit},r}}{2}}{p_t - \frac{\gamma_k h_{\text{crit},w}}{2}} \quad (38)$$

Pour le cas  $h = h_{\text{crit},r}$  on obtient:

$$p_t = \gamma_k h_{\text{crit},r} \quad (39)$$

d'où:

$$d_g = C_{w,d} \frac{\frac{p_t}{2}}{p_t - \frac{\gamma_k h_{\text{crit},w}}{2}} \quad (40)$$

$$d_g = \frac{1}{2} C_{w,d} \frac{p_t}{p_t - \frac{\gamma_k h_{crit,w}}{2}} \quad (41)$$

D'autre part:

$$h_{crit,w} = \frac{b}{B} h_{crit,r} \quad (42)$$

d'où:

$$\frac{\gamma_k h_{crit,w}}{2} = \frac{b}{B} \frac{1}{2} \gamma_k h_{crit,r} \quad (43)$$

$$\frac{\gamma_k h_{crit,w}}{2} = \frac{b}{B} \frac{1}{2} p_t \quad (44)$$

$$d_g = \frac{1}{2} C_{w,d} \frac{p_t}{p_t \left(1 - \frac{1}{2} \frac{b}{B}\right)} \quad (45)$$

$$d_g = \frac{1}{2} C_{w,d} \frac{1}{1 - \frac{1}{2} \frac{b}{B}} \quad (46)$$

ce qui, lorsque  $\frac{B}{b}$  est très grand, donne approximativement:

$$d_g = \frac{1}{2} C_{w,d} \quad \text{pour } h = h_{crit,r} \quad (47)$$

La formule (38) peut encore s'écrire:

$$d_g = C_{w,d} \frac{p_t - \gamma_k \frac{B}{b} \frac{h_{crit,w}}{2}}{p_t - \gamma_k \frac{h_{crit,w}}{2}} \quad (48)$$

$$d_g = C_{w,d} \frac{1 - \gamma_k \frac{B}{b} \frac{h_{crit,w}}{2 p_t}}{1 - \frac{\gamma_k h_{crit,w}}{2 p_t}} \quad (49)$$

et pour  $h \rightarrow \infty$   $p_t \rightarrow \infty$  (50)

$$d_g = C_{w,d}$$

Il faut souligner que les formules précédentes ont été établies pour le cas de semelles filantes, et dans l'hypothèse du refoulement pur. Dans ces hypothèses on obtient (formule 47) qu'à la profondeur critique  $h_{crit,r}$  correspondant à la grande semelle, la capacité portante unitaire de rupture  $d_g$  ne vaudrait que la moitié de la valeur  $C_{w,d}$  trouvée avec la petite semelle, du moins si  $B:b$  est très grand. Cette conclusion ne peut être appliquée sans plus pour le cas des pieux, et cela pour une double raison:

1°) Au cas de pieux on a affaire à un problème à 3 dimensions; dans le cas à 3 dimensions le refoulement

peut se faire plus aisément que dans le cas à 2 dimensions. On peut dès lors poser que:

$$\left(\frac{h}{d}\right)_{crit,3} < \left(\frac{h}{b}\right)_{crit,2} \quad (51)$$

$$\left(\frac{h}{D}\right)_{crit,3} < \left(\frac{h}{B}\right)_{crit,2} \quad (52)$$

Désignons par  $h'_{crit}$  la profondeur critique valable pour le pieu, et par  $h_{crit}$  la profondeur critique valable pour le pénétromètre.

2°) A la profondeur  $h'_{crit} = \frac{D}{d} h_{crit}$ , l'enfoncement du petit cône se fait déjà essentiellement par compression, alors que pour le grand pieu l'influence de la compression par rapport à celle du refoulement est encore relativement moins importante. A cause de la valeur différente du rapport des influences de la compression et du refoulement pour la petite et la grande semelle on ne peut sans plus se fier aux formules qui viennent d'être établies.

Il est donc nécessaire de confronter ces formules avec des résultats expérimentaux. On dispose à cet effet des essais de l'I.R.A.B.A. [2].

Supposons donc que les formules établies soient aussi valables pour le cas de pieux (3 dimensions). On aurait alors, en affectant de l'indice (2) les valeurs correspondantes (2 = deux dimensions).

$$d_g^{(2)} = \frac{C_{k,d}}{e^{2(\beta_c - \beta_p) \tan \varphi'}} \quad \text{pour } h < h_{crit} \quad (53)$$

$$d_g^{(2)} = \frac{C_{k,d}}{e^{2\left(\frac{\pi}{2} - \beta_p\right) \tan \varphi'}} \frac{1}{2} \frac{p_t}{p_t - \gamma_k \frac{h_{crit}}{2}} \quad (54)$$

pour  $h_{crit} < h < h'_{crit}$

$$d_g^{(2)} = C_{k,d} \frac{p_t - \gamma_k \frac{D}{d} \frac{h_{crit}}{2}}{p_t - \gamma_k \frac{h_{crit}}{2}} \quad \text{pour } h > h'_{crit} = \frac{D}{d} h_{crit} \quad (55)$$

avec  $\beta_c$  = la valeur de l'angle  $\beta$  correspondant au cas du cône de diamètre  $d$ .

$$\beta_c = f\left(\frac{h}{d}, \varphi'\right) \text{ voir figure 15.}$$

$\beta_p$  = la valeur de l'angle  $\beta$  correspondant au cas du pieu de diamètre  $D$ .

$\beta_p = f\left(\frac{h}{D}, \varphi'\right)$  voir figure 15.

$h_{crit}$  = profondeur critique correspondant au cas du cône de diamètre  $d$ ,

$$\frac{h_{crit}}{d} = F\left[\beta_c = \frac{\pi}{2}, \varphi'\right] \text{ voir figure 15 (56)}$$

$h'_{crit}$  = profondeur critique correspondant au cas du pieu de diamètre  $D$ ,

$$\frac{h'_{crit}}{D} = F\left(\beta_p = \frac{\pi}{2}, \varphi'\right) \text{ voir figure 15 (57)}$$

En partant des valeurs  $C_{k,d}$  enregistrées avec le cône  $\phi$  45 mm on a calculé les valeurs de  $d_g$  pour les pieux  $\phi$  110,  $\phi$  216,  $\phi$  320 mm.

Les calculs sont consignés au tableau II.

Les valeurs de  $d_g$  calculées sont représentées par les courbes OA''B''C'' des figures 19. On constate que les

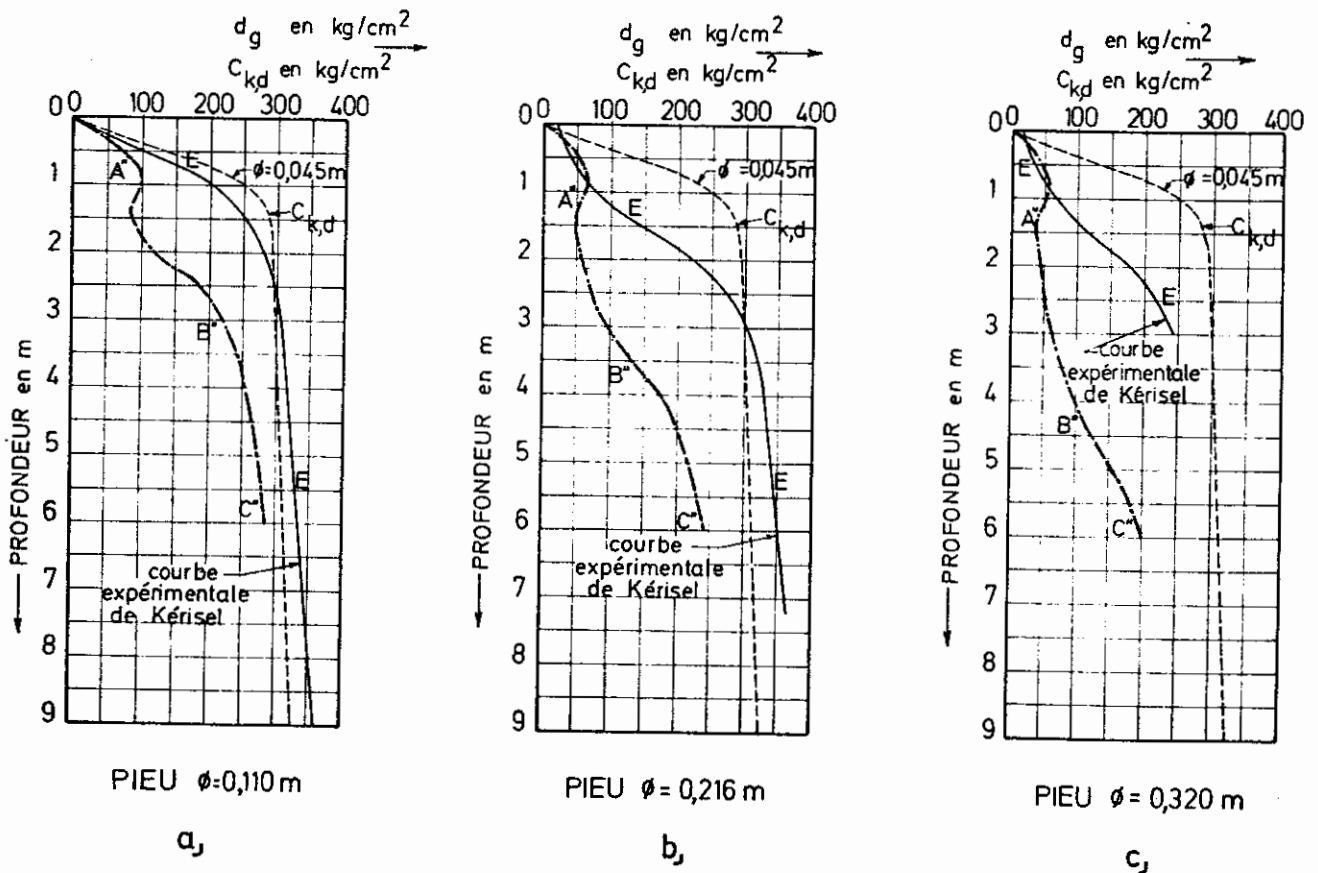
valeurs ainsi obtenues sont nettement inférieures aux valeurs réellement mesurées, représentées par les courbes EE.

Cette discordance est due aux deux raisons déjà mentionnées.

L'allure du diagramme  $C_{k,d}$  indique qu'à la profondeur  $h'_{crit} = \frac{D}{d} h_{crit}$ , la valeur de  $C_{k,d}$  est déjà essentiellement déterminée par un phénomène de densification.

D'autre part au cas d'un problème à 3 dimensions la profondeur critique est, toutes autres conditions égales, inférieure à celle correspondant au problème à 2 dimensions. Pour le problème à 3 dimensions (cas du pieu) le sol a plus de liberté pour se mouvoir. Dès lors les surfaces de glissement seront moins étendues. La valeur  $\left(\frac{h}{b}\right)_{crit,3}$  sera plus faible que la

### Essais de l'Iraba



Courbes E : valeurs expérimentales.  
 Courbes A'' B'' C'' : valeurs calculées en partant des formules valables pour le cas à 2 dimensions.

Fig. 19.



valeur  $\left(\frac{h}{b}\right)_{\text{crit},2}$ .

En se basant sur des considérations rationnelles des conditions existant aux limites, et en procédant par tâtonnements à partir des essais de Kérisel, on aboutit à poser:

$$\left(\frac{h}{d}\right)_{\text{crit},3} = \frac{\left(\frac{h}{b}\right)_{\text{crit},2}}{1 + \delta \sin 2\varphi'} \quad (58)$$

$$\text{avec } \delta = \frac{b}{l} \quad (59)$$

Pour un carré ou un cercle on a  $\delta = 1$ .

Par analogie, on obtient à partir de l'expression (24):

$$\left(\frac{h}{d}\right)_3 = \frac{\text{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2}\right) e^{\frac{\pi}{2} \text{tg} \varphi'} \sin \beta e^{\beta \text{tg} \varphi'}}{1 + \delta \sin 2\varphi'} \quad (60)$$

$$\text{d'où: } \beta = f\left(\varphi', \frac{h}{d}\right) \quad (61)$$

On obtient de nouveau une fondation profonde lorsque  $\beta = \frac{\pi}{2}$ .

La fonction  $\beta = f\left(\varphi', \frac{h}{d}\right)$  est donnée à la figure 20.

Cette figure donne  $\frac{h}{d}$  en fonction de l'angle  $\varphi'$  avec l'angle  $\beta$  comme paramètre. Cette figure vaut pour le cas à 3 dimensions.

D'autre part pour tenir davantage compte du fait que lorsque l'on dépasse la profondeur  $h_{\text{crit}}$  la résistance à la pointe  $C_{k,d}$  est essentiellement déterminée par la densification, et que de ce fait à la profondeur  $h'_{\text{crit}}$  on a  $d_g = C_{k,d}$  et non  $d_g = \frac{1}{2} C_{k,d}$ , on remplace les 3 formules (53) à (55) par la formule unique;

$$d_g = \frac{C_{k,d}}{e^{2(\beta_c - \beta_p) \text{tg} \varphi'}} \quad (62)$$

$$\text{avec } \beta_c \leq \frac{\pi}{2} \quad \text{et} \quad \beta_p \leq \frac{\pi}{2}$$

Les valeurs  $\beta_c$  et  $\beta_p$  sont à déterminer à partir de la figure 20.

Les formules (60) et (62) ont été appliquées au cas des essais de l'I.R.A.B.A. Les calculs sont consignés au tableau III. A partir des valeurs  $C_{k,d}$  obtenues avec le

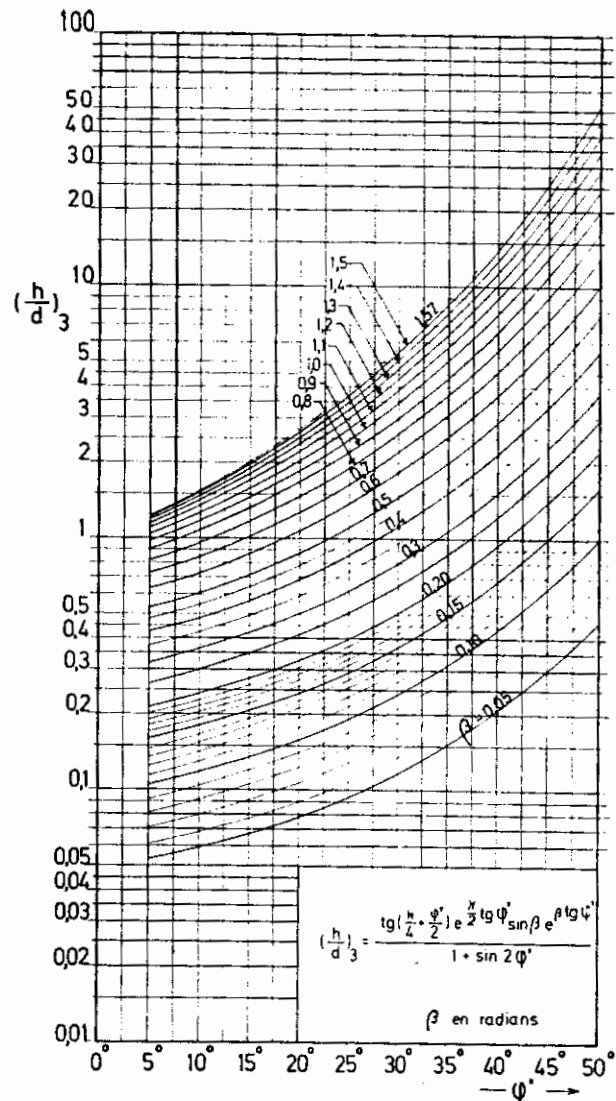


Fig. 20.

cône  $\varnothing 45$  on trouve pour les pieux  $\varnothing 110, 216$  et  $320$  mm les valeurs  $d_g^{(1)}$  renseignées aux colonnes 7, 13 et 19 de ce tableau. Ces valeurs sont représentées par les courbes OA''B''C'' des figures 21. La comparaison avec les courbes expérimentales EE montre que l'on obtient des résultats qui se rapprochent déjà davantage des valeurs réellement mesurées.

Ceci donne un certain soutien aux formules (60) et (62) proposées.

### a-3. Calculs de valeurs $d_g^{(1)}$ à partir d'un sol considéré comme homogène

On commence par faire un premier calcul en supposant le sol comme homogène. La valeur  $C_{k,d}$  mesurée à une certaine profondeur est considérée indépendamment des valeurs  $C_{k,d}$  trouvées au-dessus et au-

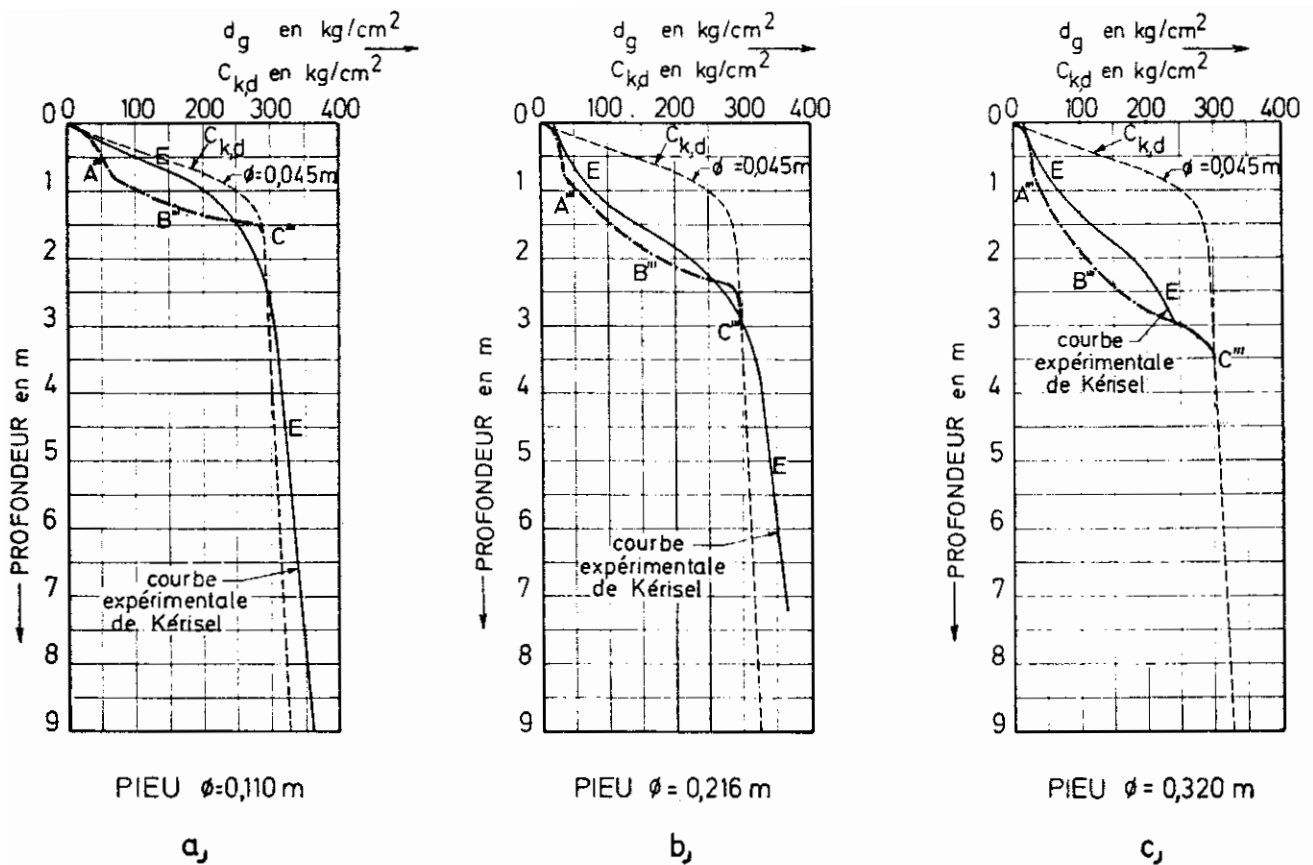


Fig. 21. Formules amendées de Meyerhof confrontées avec les essais de l'Iraba.

dessous. On suppose brutalement que la couche trouvée au niveau du  $C_{k,d}$  considéré se retrouve sur toute la hauteur. En ce cas on calcule à cette profondeur une valeur  $d_g^{(1)}$  au moyen de la formule (62). On trace la courbe des valeurs  $d_g^{(1)}$  ainsi trouvées. Cette courbe  $d_g^{(1)}$  coïncide avec la courbe  $C_{k,d}$  pour les profondeurs  $h > h'_{crit}$ .

Il est évident que, au cas de couches hétérogènes, les valeurs  $d_g^{(1)}$  ainsi trouvées ne peuvent être retenues sans plus, puisque l'on a délibérément négligé l'influence des couches qui entourent le niveau considéré.

#### a-4. Adaptation pour tenir compte de l'hétérogénéité des couches — Méthode du gradient d'accroissement.

Dans les adaptations antérieures on n'a pas encore tenu compte de l'hétérogénéité des couches. En principe on peut poser que si un cône de diamètre  $d$  doit pénétrer d'une valeur  $h_{crit}$  dans une couche résistante pour être dans l'état d'une fondation profonde (fig. 22), il faut pénétrer avec un pieu de diamètre  $D$  à une profondeur  $h'_{crit}$  donnée par:

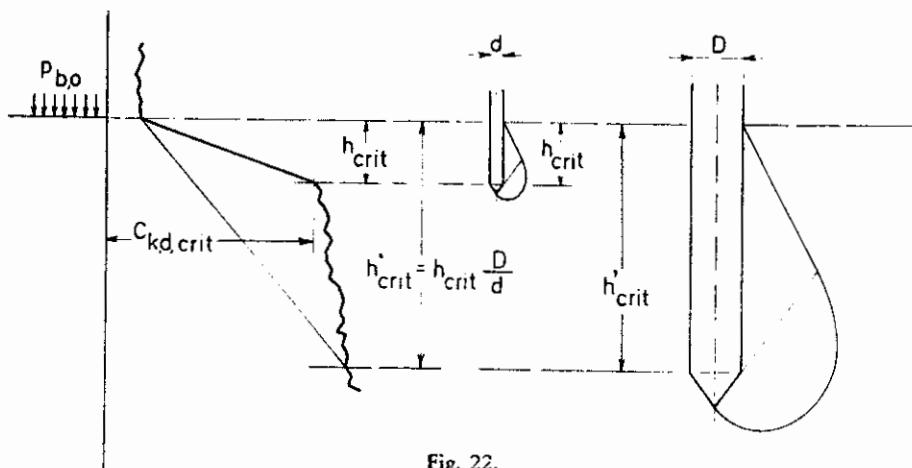


Fig. 22.



sol, mais peut l'être lorsque l'on considère le passage idéal d'une couche médiocre vers une couche résistante se trouvant à une profondeur suffisante sous la surface du sol.

La réalité est beaucoup plus complexe, le diagramme  $C_{k,d}$  ayant généralement une allure fort irrégulière. Pour rencontrer cette réalité, tout en restant du côté de la sécurité, nous introduisons les approximations suivantes:

1°) Nous assimilons brutalement tout accroissement de 2 valeurs  $C_{k,d,j+1} > C_{k,d,j}$  consécutives de  $C_{k,d}$ , mesurées à une entredistance de 0,20 m, à un passage entre deux couches idéalisées. On suppose donc simplement  $h_{crit} = 0,20$  m et  $C_{k,d,crit} = C_{k,d,j+1}$  et dès lors, à partir de (73):

$$d_{g,j+1} = d_{g,j} + \left[ \frac{1 + \frac{\gamma_k h'_{crit,f}}{2 p_{b,j}}}{1 + \frac{\gamma_k h_{crit,f}}{2 p_{b,j}}} C_{k,d,j+1} - d_{g,j} \right] \frac{1}{D} \quad (74)$$

L'indice f indique qu'il s'agit maintenant de valeurs fictives.

2°) Nous avons déjà indiqué que les formules du passage idéalisé, ne sont pas valables à partir de la surface. Nous obtiendrons toutefois des valeurs situées du côté de la sécurité si dans la formule (74) nous remplaçons  $C_{k,d,j-1}$  par la valeur dite « homogène »  $d_{g,j+1}^{(1)}$ , donnée par la formule (62).

De cette façon nous pouvons amorcer les calculs à partir de la surface. L'approximation introduite n'a que peu d'incidence dès que la profondeur dépasse quelques multiples du diamètre du pieu.

Si on voulait obtenir des valeurs plus précises pour des fondations peu profondes, rien n'empêche de faire les calculs de capacité portante de rupture à partir de la formule de portance classique en y introduisant les valeurs de  $\phi$  et de  $\phi'$ . Nous traitons toutefois ici le problème de pieux, c'est-à-dire de fondations établies à une profondeur, qui est un grand multiple du diamètre.

Remarquons d'autre part qu'au-dessous de la profondeur critique réelle, valable pour le pieu, la valeur « homogène »  $d_{g,j+1}^{(1)}$  se confond avec la valeur  $C_{k,d,j+1}$ .

Nous pouvons donc écrire d'une façon tout à fait générale:

$$d_{g,j+1} =$$

$$= d_{g,j} + \left[ \frac{1 + \frac{\gamma_k h'_{crit,f}}{2 p_{b,j}}}{1 + \frac{\gamma_k h_{crit,f}}{2 p_{b,j}}} d_{g,j+1}^{(1)} - d_{g,j} \right] \frac{1}{D} \quad (75)$$

Si nous représentons par a l'entredistance des lectures  $C_{k,d}$  (en général  $a = 0,20$  m), nous avons:

$$h_{crit,f} = a$$

$$h'_{crit,f} = a \frac{D}{d}$$

Comme  $h_{crit,f} = 0,20$  m, dès que la profondeur dépasse quelques mètres, on peut négliger  $\frac{\gamma_k h_{crit,f}}{2 p_{b,j}}$  par rapport à l'unité, ce qui permet d'écrire:

$$d_{g,j+1} = d_{g,j} + \left[ \left( 1 + \frac{\gamma_k h'_{crit,f}}{2 p_{b,j}} \right) d_{g,j+1}^{(1)} - d_{g,j} \right] \frac{1}{D} \quad (76)$$

3°) En fait, la formule de base (74) a été établie pour le passage d'une couche médiocre, vers une couche résistante, ce qui suppose donc strictement  $C_{k,d,j+1} > C_{k,d,j}$ .

Il se peut toutefois que tout en ayant  $C_{k,d,j+1} < C_{k,d,j}$  on ait  $d_{g,j+1}^{(1)} > d_{g,j}$ .

En ce cas on continuera à appliquer la formule (75). Celle-ci indique que l'effet positif dû à l'accroissement de profondeur l'emporte sur l'effet négatif dû au passage vers une couche moins résistante. Si par contre l'application de la formule (75) donne pour  $d_{g,j+1}$  une valeur supérieure à  $d_{g,j+1}^{(1)}$ , on pose:

$$d_{g,j+1} = d_{g,j+1}^{(1)}$$

En conclusion on peut ainsi, en procédant de la surface vers le bas, calculer, à partir des valeurs homogènes  $d_{g,j}^{(1)}$ , les valeurs  $d_{g,j+1}$  qui tiennent compte de la limitation du gradient d'accroissement. Nous appellerons les valeurs  $d_{g,j+1}$  les valeurs « descendantes ». Ces valeurs sont données par la formule (75) à condition que  $d_{g,j+1}^{(1)} > d_{g,j+1}$  et par la relation  $d_{g,j+1} = d_{g,j+1}^{(1)}$  lorsque  $d_{g,j+1}^{(1)} \leq (d_{g,j+1})$  calculé par (75).

Aux profondeurs où  $d_{g,j+1}^{(1)} < d_{g,j}$  on trouve une inclusion moins résistante, et donc une brusque diminution  $d_{g,j} - d_{g,j+1}^{(1)}$ .

Pour la même raison, pour laquelle il faut tenir compte d'un effet d'échelle lors du passage d'une couche médiocre vers une couche sous-jacente plus résistante (fig. 22), il existe aussi un effet d'échelle lors du passage d'une couche résistante vers une couche sous-jacente plus médiocre. Si pour le petit cône la couche médiocre (fig. 24) se fait sentir à partir d'une hauteur  $h_{crit}$ , elle se fera sentir pour le pieu de diamètre  $D$ , à partir d'une hauteur:

$$h'_{crit} = h_{crit} \frac{D}{d} \quad (76)$$

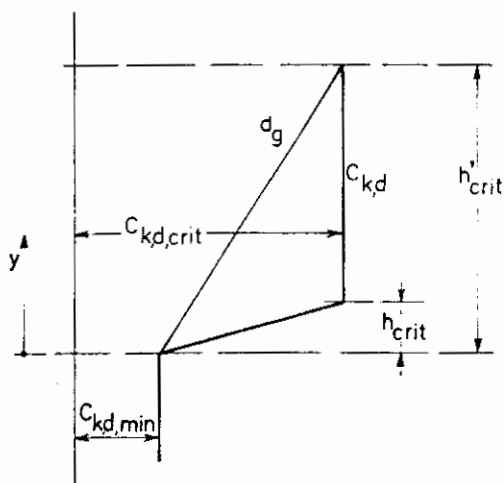


Fig. 24.

Choisissons un axe  $y$  dirigé vers le haut, à partir de la surface supérieure de la couche caractérisée par  $C_{k,d,min}$ .

Pour des valeurs de  $y < h_{crit}$  (fig. 24), on a:

$$C_{k,d} = C_{k,d,min} + (C_{k,d,crit} - C_{k,d,min}) \frac{y}{h_{crit}} \quad (77)$$

et pour le pieu:

$$d_g = C_{k,d,min} + (C_{k,d,crit} - C_{k,d,min}) \frac{y}{h'_{crit}} \quad (78)$$

$$d_g = C_{k,d,min} + (C_{k,d,crit} - C_{k,d,min}) \frac{y}{h_{crit}} \cdot \frac{D}{d} \quad (79)$$

Pour  $y = h_{crit}$  on obtient:

$$d_g = C_{k,d,min} + (C_{k,d,crit} - C_{k,d,min}) \frac{1}{\frac{D}{d}} \quad (80)$$

Considérons maintenant les lectures vers le haut à partir de la profondeur de la couche médiocre et désignons leur numéro d'ordre par  $q$ .

Pour rencontrer la réalité complexe, nous supposons que tout accroissement vers le haut (donc en fait un décroissement vers le bas) entre deux valeurs consécutives  $C_{k,d,q}$  et  $C_{k,d,q+1}$ , mesurées à une entredistance  $a = 0,20$  m correspond à un passage entre 2 couches idéalisées, la couche résistante se trouvant cette fois au-dessus de la couche médiocre.

D'autre part, comme nous disposons déjà des valeurs  $d_{g,j+1}$ , c'est le gradient vers le haut de ces valeurs qu'il faut limiter. On obtient donc finalement:

$$d_{g,q+1} = d_{g,q} + \left[ (d_{g,j+1})_{q+1} - d_{g,q} \right] \frac{1}{\frac{D}{d}} \quad (81)$$

A partir des inclusions moins résistantes on remonte maintenant chaque fois vers le haut, et on continue jusqu'au point où  $(d_{g,j+1})_{q+1} < d_{g,q}$ . A partir de ce niveau les valeurs  $d_{g,j+1}$  restent valables.

#### a-5. Introduction d'une valeur moyenne sur l'épaisseur $D$

Jusqu'ici nous avons calculé les valeurs dites homogènes  $d_g^{(1)}$ , les valeurs descendantes  $d_{g,j+1}$  et les valeurs montantes  $d_{g,q+1}$ , ce qui a permis d'introduire le gradient d'accroissement. De cette façon on obtient des valeurs pour  $d_g$  qui serrent déjà d'assez près la réalité. Toutefois il subsiste certaines imperfections.

Ainsi dans le parcours du haut vers le bas, on a admis qu'aux niveaux où  $d_{g,j+1}^{(1)} < d_{g,j}$ , on a  $d_{g,j+1} = d_{g,j+1}^{(1)}$ , donc que la valeur dite homogène reste inchangée. Dans le parcours du bas vers le haut on admet que là où  $(d_{g,j+1})_{q+1} < d_{g,q}$  on a  $d_{g,q+1} = d_{g,j+1}$ .

Dans les intercalations peu résistantes on retient ainsi en fait les valeurs homogènes  $d_{g,j+1}^{(1)}$ . Mais il est évident que si l'intercalation est peu épaisse par rapport au diamètre du pieu et qu'elle est entourée de couches résistantes, la capacité portante unitaire de rupture à la base du pieu, arrêté dans cette intercalation médiocre, pourra être supérieure à la valeur homogène. En effet le problème sera alors régi par la résistance au squeezing de la couche médiocre. Ce sera notamment le cas lorsque l'épaisseur  $e_s$  de la

couche médiocre est notablement inférieure au diamètre  $D$  de la base. Par contre dès que  $e_s$  est environ égal à  $D$ , la majoration du squeezing par rapport à la rupture dans une couche illimitée pourra être considérée comme faible.

Ceci illustre le fait que jusqu'ici on n'a pas encore suffisamment homogénéisé les résultats. Cette homogénéisation (mixing ou blending) peut être obtenue en faisant la moyenne des valeurs  $d_{g,q+1}$  obtenues sur une épaisseur égale à une fois le diamètre sous le niveau considéré. On introduira toutefois la limitation que cette moyenne ne pourra être supérieure à la valeur homogène  $d_{g,q+1}^{(1)}$ , aux profondeurs où celle-ci est inférieure à  $C_{k,d,q+1}$ . C'est notamment le cas près de la surface.

Nous indiquerons les valeurs ainsi homogénéisées par  $d_g^{(m)}$ .

#### b. Application de la méthode R.I.G. aux essais de l'I.R.A.B.A.

Nous partons du diagramme expérimental ABC obtenu avec un cône  $\varnothing 45$  mm (courbe  $\varnothing 0,045$  m de la fig. 9) et nous nous proposons de déterminer à partir de cette donnée expérimentale les capacités portantes limites par résistance à la base des pieux  $\varnothing 110$  mm,  $\varnothing 216$  mm et  $\varnothing 320$  mm en utilisant la méthode décrite ci-dessus. Les détails des calculs sont renseignés au tableau III. Ce tableau donne:

- 1<sup>ère</sup> colonne: les profondeurs au-dessous de la surface du sol en m;
- 2<sup>e</sup> colonne : les valeurs  $C_{k,d}$  mesurées à chaque profondeur avec le cône  $\varnothing 45$  mm, en  $\text{kg/cm}^2$ ;
- 3<sup>e</sup> colonne : les valeurs  $p_{b,j}$  à chaque profondeur en  $\text{t/m}^2$ , en admettant que le poids volumique du sol vaut  $\gamma_d = 1,8 \text{ t/m}^3$ ;
- 4<sup>e</sup> colonne : à partir de la formule (22) les valeurs  $\varphi = \varphi'$  en degrés. Les angles obtenus varient entre  $40^\circ$  et  $33^\circ 30'$ . L'angle réel est au moins égal à ces valeurs;
- 5<sup>e</sup> colonne : les valeurs de l'angle  $\beta_c$  en radians, obtenues à partir de la formule 60, valable pour le cas à 3 dimensions.  
*Pour le pieu  $\varnothing 110$  mm.*
- 6<sup>e</sup> colonne : les valeurs de l'angle  $\beta_p$  en radians, obtenues à partir de la formule 60, valable pour le cas à 3 dimensions;
- 7<sup>e</sup> colonne : les valeurs « homogène »  $d_g^{(1)}$  en  $\text{kg/cm}^2$ , obtenues par la formule (62);
- 8<sup>e</sup> colonne : la valeur du rapport  $A$ , se rapportant à la rangée  $j + 1$ , et valant:

$$A = \frac{p_{b,j} + \frac{1}{2} \gamma_k h'_{\text{crit}}}{p_{b,j} + \frac{\gamma_k}{2} h_{\text{crit}}}; \quad (82)$$

9<sup>e</sup> colonne : les valeurs descendantes:

$$d_{g,j+1} = d_{g,j} + \left[ A d_{g,j+1}^{(1)} - d_{g,j} \right] \frac{1}{D/d}$$

Comme le diagramme  $C_{k,d}$  est continuellement croissant, il est inutile de considérer les valeurs montantes;

10<sup>e</sup> colonne : les valeurs homogénéisées  $d_g^{(m)}$  en  $\text{kg/cm}^2$ ;

11<sup>e</sup> colonne : les valeurs expérimentales  $d_g$  en  $\text{kg/cm}^2$ .

*Pieu  $\varnothing 216$  mm;*

12<sup>e</sup> à 17<sup>e</sup> colonne.

*Pieu  $\varnothing 320$  mm;*

18<sup>e</sup> à 23<sup>e</sup> colonne.

Donnons un exemple d'application numérique à 1,00 m de profondeur pour le pieu  $\varnothing 110$  mm.

A cette profondeur on a:

$$C_{k,d} = 253 \text{ kg/cm}^2 \quad \varphi' = 40^\circ 30'$$

$$\frac{h}{d} = \frac{100}{4,5} = 22,22 > \left( \frac{h}{d} \right)_{\text{crit}}$$

$$\frac{h}{D} = \frac{100}{11} = 9,09$$

La figure 20 donne avec  $\varphi' = 40^\circ 30'$  et  $\frac{h}{d} = 22,22$

$$\left( \frac{h}{d} \right) > \left( \frac{h}{d} \right)_{\text{crit}} \text{ et dès lors } \beta_c = 1,57 \text{ radians.}$$

D'autre part avec  $\varphi' = 40^\circ 30'$  et  $\frac{h}{D} = 9,09$ ,

on trouve  $\beta_p = 1,06$  radians.

La formule (62) donne:

$$d_g^{(1)} = \frac{253}{e^{2(1,57 - 1,06) \text{tg } 40^\circ 30'}} = 105,87 \text{ kg/cm}^2$$

Aux autres profondeurs les calculs des valeurs homogènes  $d_g^{(1)}$  se font d'une manière analogue.

On constate qu'à partir de 1,60 m de profondeur les valeurs de  $d_g^{(1)}$  sont égales aux valeurs  $C_{k,d}$ .

Passons ensuite au calcul des valeurs descendantes.

On a :

$$\frac{D}{d} = \frac{11}{4,5} = 2,44.$$

Dans le diagramme continu donné dans [2], on a considéré des lectures tous les 0,20 m. On a donc posé :

$$h_{crit,f} = 0,20 \text{ m}$$

$$h'_{crit,f} = \frac{D}{d} h_{crit,f} = 2,44 \times 0,20 = 0,488 \text{ m},$$

$$\frac{\gamma_k h'_{crit}}{2} = \frac{1,8 \times 0,488}{2} = 0,44 \text{ t/m}^2,$$

$$\frac{\gamma_k h_{crit}}{2} = \frac{1,8 \times 0,20}{2} = 0,18 \text{ t/m}^2,$$

TABLEAU III. — Formules amendées de Meyerhof (cas de 3 dimensions) confrontées avec les essais de l'IRABA et application de la méthode R.L.G.

1	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7	8	9	10	11
profondeur h	C <sub>k,d</sub>	p <sub>b,i</sub> (γ <sub>k</sub> = 18 t/m <sup>3</sup> )	φ = φ'	β <sub>c</sub> (3 dimensionnel)		PIEU φ = 0,110 m						
				h d (d = 0,445 m) (voir fig. 20)	β <sub>c</sub>	β <sub>p</sub> (3 dim)		d' <sub>g</sub> <sup>(1)</sup> form. (62)	A form. (62)	d' <sub>g,i+1</sub> form. (62)	d <sub>g</sub> (valeurs homogénéisées)	d <sub>g</sub> (valeurs expérimentales)
						h D	β <sub>p</sub>					
m	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	degrés		radians		radians	kg/cm <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,20	45	0,36	40°	4,44	0,67	1,82	0,34	25,86	2,439	25,86	25,86	35
0,40	100	0,72	40°30'	2,88	1,05	3,64	0,57	44,05	1,487	41,98	44,05	65
0,60	157	1,08	40°30'	13,33	1,37	5,45	0,76	55,38	1,289	54,01	55,38	125
0,80	220	1,44	41°	17,77	1,57	7,27	0,93	67,45	1,206	65,20	67,45	170
1,00	253	1,80	40°30'	22,22	1,57	9,09	1,06	81,87	1,160	84,79	105,87	200
1,20	273	2,16	40°	26,66	1,57	10,91	1,25	150,56	1,131	126,32	147,41	230
1,40	284	2,52	40°			12,73	1,38	200,46	1,111	168,49	199,06	242
1,60	290	2,88	39°30'			14,55	1,57	290	1,096	229,63	247,47	258
1,80	292	3,24	39°			16,36	1,57	292	1,085	265,30	275,53	270
2,00	293	3,60	38°30'			18,18	1,57	293	1,076	285,75	289,88	280
2,20	294	3,96	38°			20,00	1,57	294	1,069	294	294,5	287
2,40	295	4,32	37°30'					295	1,063	295	295,5	296
2,60	296	4,68	37°30'					296	1,058	296	296,5	300
2,80	297	5,04	37°					297	1,053	297	297,5	304
3,00	298	5,40	36°30'					298	1,050	298	298,5	307
3,20	299	5,76	36°30'					299	1,047	299	299,5	310
3,40	300	6,12	36°					300	1,044	300	300,5	312
3,60	301	6,48	35°30'					301	1,041	301	301,5	313
3,80	302	6,84	35°30'					302	1,039	302	302,5	314
4,00	303	7,20	35°					303	1,037	303	303,5	315
4,20	304	7,56	35°					304	1,035	304	304,5	317
4,40	305	7,92	35°					305	1,034	305	305,5	318
4,60	306	8,28	34°30'					306	1,032	306	306,5	321
4,80	307	8,64	34°30'					307	1,031	307	307,5	323
5,00	308	9,00	34°30'					308	1,029	308	308,5	325
5,20	309	9,36	34°					309	1,028	309	309,5	327
5,40	310	9,72	34°					310	1,027	310	310,5	329
5,60	311	10,08	34°					311	1,026	311	311,5	321
5,80	312	10,44	33°30'					312	1,025	312	312,5	333
6,00	313	10,80	33°30'					313	1,024	313	313,5	335

$$A = \frac{P_{b,j} + \frac{\gamma_k h'_{crit}}{2}}{P_{b,j} + \frac{\gamma_k h_{crit}}{2}} = \frac{P_{b,j} + 0,44}{P_{b,j} + 0,18} \quad (83)$$

$$A = \frac{1,44 + 0,44}{1,44 + 0,18} = 1,160.$$

Par exemple à 1,00 m de profondeur, considérée comme rangée  $j + 1$ , nous avons:

$$P_{b,j} = 1,44 \text{ t/m}^2,$$

Pour obtenir  $d_{g,j+1}$  à 1.00 m de profondeur, nous devons partir de la surface:

à 0,20 m de profondeur:

$$d_{g,j} = \text{valeur à 0 m} = 0.$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 25,86 \text{ kg/cm}^2,$$

PIEU $\phi = 0,216 \text{ m}$							PIEU $\phi = 0,320 \text{ m}$						
$\beta_p$ (3 dim)		$d_g^{(1)}$	A	$d_{g,j-1}$	$d_g$	$d_g$	$\beta_p$ (3 dim)		$d_g^{(1)}$	A	$d_{g,j-1}$	$d_g$	$d_g$
$\frac{h}{D}$	$\beta_p$						$\frac{h}{D}$	$\beta_p$					
	(voir fig. 20)	form. (82)	form. (82)	form. (82)	(valeurs homogénéisées)	(valeurs expérimentales)		(voir fig. 20)	form. (82)	form. (82)	form. (82)	(valeurs homogénéisées)	(valeurs expérimentales)
	radians	kg/cm <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>		radians	kg/cm <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,33	0,185	20,28	4,800	20,28	20,28	26	0,63	0,14	18,48	7,111	18,48	18,48	22
1,15	0,24	29,74	2,267	29,74	29,74	35	1,25	0,245	25,28	3,037	25,28	25,28	30
2,78	0,465	33,46	1,760	33,46	33,66	46	1,88	0,345	27,26	2,222	27,26	27,26	40
3,70	0,555	37,67	1,543	37,67	37,67	60	2,50	0,42	28,79	1,873	28,79	28,79	54
4,63	0,68	55,32	1,422	46,21	51,73	75	3,13	0,515	41,73	1,673	35,45	41,73	67
5,56	0,79	73,73	1,345	57,25	63,30	98	3,75	0,60	53,50	1,556	42,17	48,54	85
6,48	0,88	89,21	1,292	65,34	76,31	125	4,38	0,67	62,71	1,470	49,20	57,69	103
7,41	1,00	112,31	1,253	84,48	93,35	160	5,00	0,755	75,66	1,407	57,26	67,03	127
8,33	1,11	138,62	1,224	102,22	112,59	185	5,63	0,85	90,38	1,359	66,60	77,87	155
9,26	1,25	176,11	1,200	124,35	139,24	225	6,25	0,94	107,55	1,322	77,22	90,37	177
10,19	1,38	221,32	1,181	153,52	173,73	245	6,88	1,04	128,43	1,291	89,68	104,42	196
11,11	1,54	281,73	1,165	189,33	205,67	264	7,50	1,14	152,49	1,266	104,21	120,43	212
12,04	1,57	296	1,152	221,40	232,63	277	8,13	1,21	170,35	1,244	119,37	138,31	224
12,96	1,57	297	1,141	245,26	258,36	290	8,75	1,32	202,76	1,226	137,32	161,18	234
13,89	1,57	298	1,131	264,26	276,24	300	9,38	1,45	249,51	1,211	160,84	184,92	243
		299	1,123	279,61	285,34	308	10,00	1,52	277,67	1,197	174,93	207,74	
		300	1,115	293,06	285,03	316	10,63	1,57	300	1,185	208,96	228,26	
		301	1,108	299,94	300,94	321	11,25	1,57	301	1,175	229,29	245,66	
		302	1,103	302	302,1	326	11,88	1,57	302	1,165	246,53	260,41	
		303	1,097	303	303,5	328			303	1,157	261,15	272,92	
		304	1,093	304	304,5	330			304	1,149	273,55	283,54	
		305	1,088	305	305,5	332			305	1,142	284,07	292,55	
		306	1,084	306	306,5	335			306	1,136	293	300,20	
		307	1,081	307	307,5	337			307	1,130	300,58	305,54	
		308	1,078	308	308,5	340			308	1,125	307,03	308,68	
		309	1,075	309	309,5	342			309	1,120	309	310	
		310	1,072	310	310,5	344			310	1,115	310	311	
		311	1,069	311	311,5	346			311	1,111	311	312	
		312	1,067	312	312,5	348			312	1,107	312	313	
		313	1,064	313	313,5	350			313	1,104	313	314	



$$A = \frac{0 + 0,44}{0 + 0,18} = 2,439,$$

$$d_{g,j+1} = 0 + (2,439 \times 25,86 - 0) \frac{1}{2,439} = 25,86 \text{ kg/cm}^2.$$

à 0,40 m de profondeur:

$$d_{g,j} = 25,86 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 44,05 \text{ kg/cm}^2,$$

$$A = 1,481$$

$$d_{g,j+1} = 25,86 + (1,48 \times 44,05 - 25,86) \frac{1}{1,439} = 41,98 \text{ kg/cm}^2,$$

à 0,60 m de profondeur:

$$d_{g,j} = 41,98 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 55,38 \text{ kg/cm}^2,$$

$$A = 1,289$$

$$d_{g,j+1} = 41,98 + (1,289 \times 55,38 - 41,98) \frac{1}{2,439} = 54,01 \text{ kg/cm}^2,$$

à 0,80 m de profondeur:

$$d_{g,j} = 54,01 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 67,45 \text{ kg/cm}^2,$$

$$A = 1,206$$

$$d_{g,j+1} = 54,01 + (1,206 \times 67,45 - 54,01) \frac{1}{2,439} = 65,20 \text{ kg/cm}^2$$

à 1,00 m de profondeur:

$$d_{g,j} = 65,20 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 105,87 \text{ kg/cm}^2,$$

$$A = 1,16$$

$$d_{g,j+1} = 65,20 + (1,16 \times 105,87 - 65,20) \frac{1}{2,439} = 88,79 \text{ kg/cm}^2.$$

On peut ainsi déterminer toutes les valeurs descendantes  $d_{g,j+1}$ . Dans le cas actuel il n'est pas nécessaire de déterminer les valeurs montantes  $d_{g,j+1}$ . D'autre part, pour le pieu  $\varnothing 110$  mm, l'épaisseur sur laquelle il faut faire l'homogénéisation ne vaut que  $D = 11$  cm. Comme on a considéré des lectures tous

les 0,20 m, l'homogénéisation a été effectuée pour 2 lectures.

Pour le pieu  $\varnothing 216$  mm l'homogénéisation a aussi été effectuée pour 2 lectures, tandis que pour le pieu  $\varnothing 320$  mm celle-ci s'est effectuée sur 3 lectures.

Comme on se trouve pratiquement partout à des profondeurs où  $d_{g,j+1}^{(1)} < C_{k,d,j+1}$ , la valeur homogénéisée devra éventuellement être rabattue à la valeur  $d_{g,j+1}^{(1)}$ .

Les valeurs de  $d_g$  calculées par la méthode R.I.G. sont finalement représentées par les courbes M.N.T. de la figure 25. La comparaison de ces courbes avec les courbes expérimentales E montre, qu'avec la méthode proposée on obtient des valeurs situées du côté de la sécurité, contrairement à la méthode L.G.M. qui donne des valeurs trop élevées.

Nous préférons rester du côté de la sécurité, quitte à appliquer avec la méthode R.I.G. un coefficient de sécurité moindre que celui adopté pour la méthode L.G.M.

Remarquons que dans le cas de l'I.R.A.B.A. on a affaire à une couche homogène, de sorte que la méthode de l'adaptation rectiligne, décrite dans [4] est directement applicable. On trouve ainsi pour les pieux considérés les droites L. On peut constater que les courbes M.N.T. trouvées avec la méthode R.I.G. se situent autour des droites L correspondantes.

### c. Examen de l'influence de la valeur de la subdivision

Dans la méthode esquissée on a brutalement admis que chaque fluctuation des valeurs  $C_{k,d}$  correspond au passage de 2 couches homogènes. Cela revient à admettre que  $h_{crit}$  est égal à l'entredistance « a » entre deux lectures successives. Ceci est évidemment inexact, puisque l'entredistance « a » est un paramètre arbitraire dont on dispose librement. Dans les essais de pénétration courants les lectures de  $C_{k,d}$  se font tous les 0,20 m, mais rien n'empêche de faire des lectures tous les 0,10 m, ou même d'avoir un enregistrement continu. Dans ce dernier cas il est évidemment possible de dégager d'une façon plus rationnelle les valeurs de  $h_{crit}$ .

En tout cas il s'agit d'examiner quelles sont les erreurs que l'on peut commettre en assimilant la profondeur critique  $h_{crit}$ , à une entredistance « a » arbitrairement choisie.

## Essais de l'Iraba

MNT : courbes calculées suivant la méthode RIG

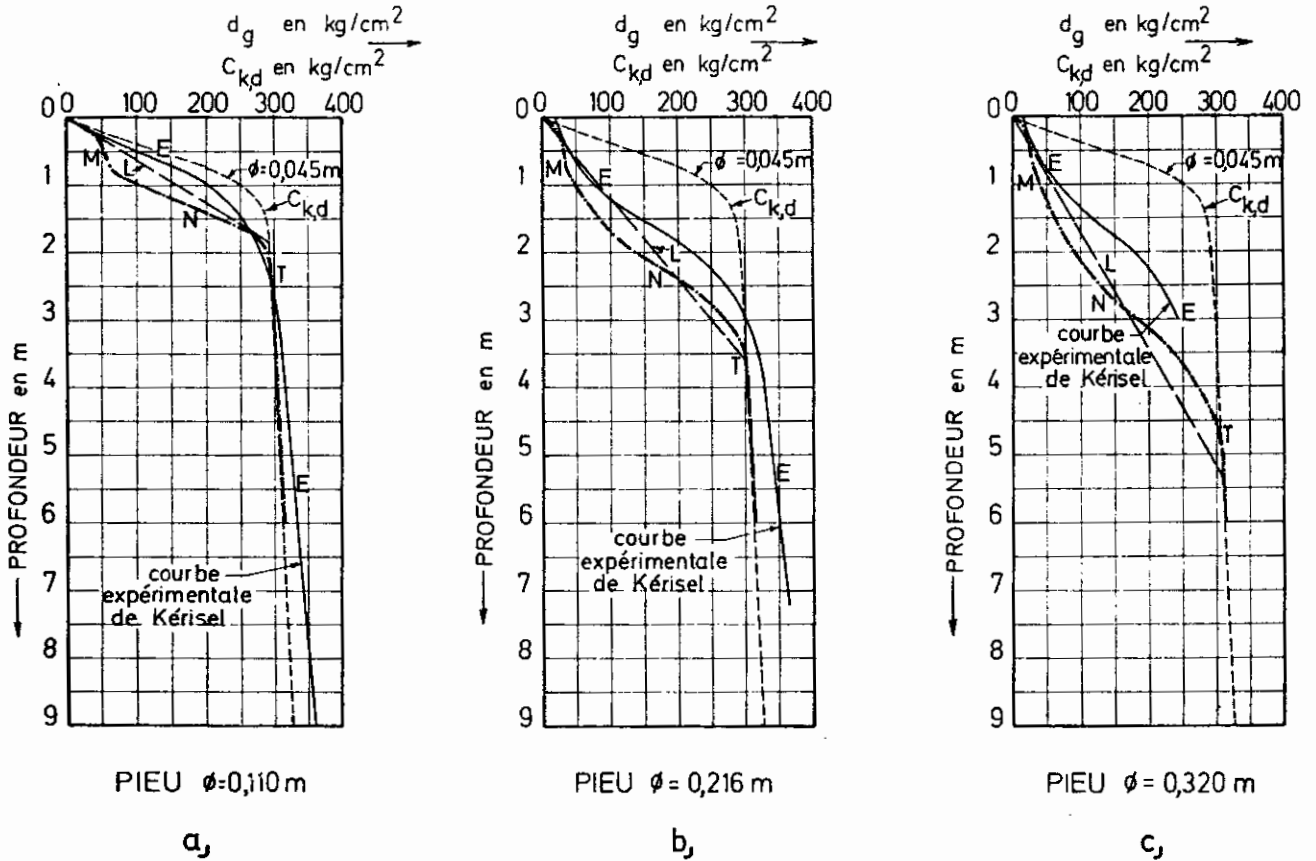


Fig. 25.

### c-1. Cas idéalisé

Supposons le cas idéalisé (fig. 26) du passage de 2 couches homogènes, caractérisé par le diagramme ABCD des valeurs  $C_{k,d}$  en fonction de la profondeur. De ce diagramme on dégage la valeur  $h_{crit}$ . Les lectures des valeurs  $C_{k,d}$  ayant été faites à des entredistances « a » nous assimilons toutefois chaque accroissement au passage de 2 couches homogènes fictives, et pour ces couches fictives nous posons  $h_{crit,f} = a$ .

La formule (74) s'écrit dès lors:

$$d_{g,j+1} = d_{g,j} + \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{D}{d} \frac{\gamma_k a}{2}}{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2}} C_{k,d,j+1} - d_{g,j} \right] \frac{d}{D} \quad (84)$$

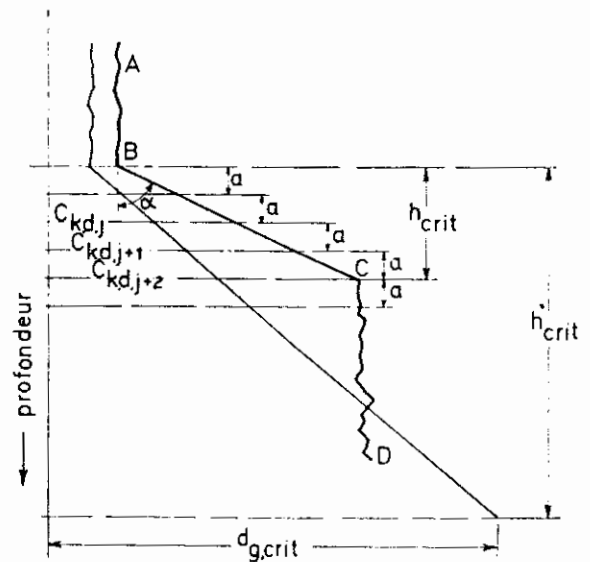


Fig. 26.

de même:

$$d_{g,j+2} = d_{g,j+1} + \left[ \frac{p_{b,j+1} + \frac{D}{d} \frac{\gamma_k a}{2}}{p_{b,j+1} + \frac{\gamma_k a}{2}} C_{k,d,j+2} - d_{g,j+1} \right] \frac{d}{D} \quad (85)$$

On a:

$$p_{b,j+1} = p_{b,j} + \gamma_k a \quad (86)$$

Posons:

$$\frac{d}{D} = \delta' < 1 \quad (87)$$

$$d_{g,j+2} = d_{g,j+1} + \left[ \frac{p_{b,j} + \gamma_k a + \frac{\gamma_k a}{2\delta'}}{p_{b,j} + \gamma_k a + \frac{\gamma_k a}{2}} C_{k,d,j+2} - d_{g,j+1} \right] \delta' \quad (88)$$

Remplaçons dans (88)  $d_{g,j+1}$  par l'expression (84):

$$d_{g,j+2} = d_{g,j} + \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2\delta'}}{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2}} C_{k,d,j+1} - d_{g,j} \right] \delta' + \frac{p_{b,j} + \gamma_k a + \frac{\gamma_k a}{2\delta'}}{p_{b,j} + \gamma_k a + \frac{\gamma_k a}{2}} C_{k,d,j+2} - d_{g,j} + \left. - \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2\delta'}}{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2}} C_{k,d,j+1} - d_{g,j} \right] \delta' \right\} \delta' \quad (89)$$

Posons:

$$C_{k,d,j+2} = C_{k,d,j+1} + a \operatorname{tg} \alpha \quad (90)$$

L'angle  $\alpha$  est défini à la figure 26. La formule (89) devient:

$$d_{g,j+2} = d_{g,j} + \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2\delta'}}{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2}} C_{k,d,j+1} - d_{g,j} \right] \delta' + \left\{ \frac{p_{b,j} + \gamma_k a + \frac{\gamma_k a}{2\delta'}}{p_{b,j} + \gamma_k a + \frac{\gamma_k a}{2}} (C_{k,d,j+1} + a \operatorname{tg} \alpha) + \right.$$

$$\left. - d_{g,j} - \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2\delta'}}{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2}} C_{k,d,j+1} - d_{g,j} \right] \delta' \right\} \delta' \quad (91)$$

(1) Terme en  $d_{g,j}$ :

$$d_{g,j} - d_{g,j} \delta' - d_{g,j} \delta' + \delta_{g,j} \delta'^2 = d_{g,j} (1 - 2\delta' + \delta'^2) = d_{g,j} (1 - \delta')^2 \quad (92)$$

(2) Terme en  $C_{k,d,j+1}$ :

$$\left[ \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2\delta'}}{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2}} \delta' + \frac{p_{b,j} + \gamma_k a \left(1 + \frac{1}{2\delta'}\right)}{p_{b,j} + \gamma_k a \frac{3}{2}} \delta' + \right. \\ \left. - \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2\delta'}}{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2}} \delta'^2 \right] C_{k,d,j+1} = \\ \delta' \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2\delta'}}{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2}} (1 - \delta') + \right. \\ \left. + \frac{p_{b,j} + \gamma_k a \left(1 + \frac{1}{2\delta'}\right)}{p_{b,j} + \gamma_k a \frac{3}{2}} \right] C_{k,d,j+1} \quad (93)$$

(3) Terme en  $a \operatorname{tg} \alpha$ :

$$\frac{p_{b,j} + \gamma_k a \left(1 + \frac{1}{2\delta'}\right)}{p_{b,j} + \gamma_k a \frac{3}{2}} a \delta' \operatorname{tg} \alpha \quad (94)$$

L'expression (91) peut donc s'écrire:

$$d_{g,i+2} = d_{g,j} (1 - \delta')^2 + \\ + C_{k,d,j+1} \delta' \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2\delta'}}{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2}} (1 - \delta') + \right. \\ \left. + \frac{p_{b,j} + \gamma_k a \left(1 + \frac{1}{2\delta'}\right)}{p_{b,j} + \frac{3}{2} \gamma_k a} \right] + \\ + a \delta' \operatorname{tg} \alpha \frac{p_{b,j} + \gamma_k a \left(1 + \frac{1}{2\delta'}\right)}{p_{b,j} + \frac{3}{2} \gamma_k a} \quad (95)$$

On a :

$$C_{k,d,j+1} = C_{k,d,j} + a \operatorname{tg} \alpha \quad (96)$$

ce qui introduit dans (95) donne :

$$\begin{aligned} d_{g,j+2} = & d_{g,j}(1 - \delta')^2 + \\ & + C_{k,d,j} \delta' \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2\delta'}}{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2}} (1 - \delta') + \right. \\ & \left. + \frac{p_{b,j} + \gamma_k a \left(1 + \frac{1}{2\delta'}\right)}{p_{b,j} + \frac{3}{2}\gamma_k a} \right] + \\ & + a \delta \operatorname{tg} \alpha \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2\delta'}}{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2}} (1 - \delta') + \right. \\ & \left. + 2 \frac{p_{b,j} + \gamma_k a \left(1 + \frac{1}{2\delta'}\right)}{p_{b,j} + \frac{3}{2}\gamma_k a} \right] \quad (97) \end{aligned}$$

Supposons maintenant qu'au lieu d'avoir fait des lectures à des entredistances  $a$ , nous ayons fait des lectures à des entredistances  $a' = 2a$ .

L'application de la formule (74) donnera alors :

$$\begin{aligned} d'_{g,j+2} = & \\ = & d_{g,j} + \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{D}{d} \gamma_k \frac{2a}{2}}{p_{b,j} + \gamma_k \frac{2a}{2}} C_{k,d,j+2} - d_{g,j} \right] \frac{d}{D} \quad (98) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'_{g,j+2} = & \\ = & d_{g,j} + \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{\delta'}}{p_{b,j} + \gamma_k a} (C_{k,d,j} + 2a \operatorname{tg} \alpha) - d_{g,j} \right] \delta' \quad (99) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'_{g,j+2} = & d_{g,j}(1 - \delta') + C_{k,d,j} \delta' \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{\delta'}}{p_{b,j} + \gamma_k a} + \\ & + a \delta' \operatorname{tg} \alpha 2 \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{\delta'}}{p_{b,j} + \gamma_k a} \quad (100) \end{aligned}$$

Plaçons-nous à des profondeurs suffisantes, et choisissons une valeur de  $a$  suffisamment faible, pour

pouvoir négliger  $\frac{3}{2} \gamma_k a$  par rapport à  $p_{b,j}$ . En ce cas l'expression (97) devient :

$$\begin{aligned} d_{g,j+2} = & d_{g,j}(1 - \delta')^2 \\ & + C_{k,d,j} \delta' \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2\delta'}}{p_{b,j}} (1 - \delta') + \right. \\ & \left. + \frac{p_{b,j} + \gamma_k a \left(1 + \frac{1}{2\delta'}\right)}{p_{b,j}} \right] \\ & + a \delta' \operatorname{tg} \alpha \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2\delta'}}{p_{b,j}} (1 - \delta') + \right. \\ & \left. + 2 \frac{p_{b,j} + \gamma_k a \left(1 + \frac{1}{2\delta'}\right)}{p_{b,j}} \right] \quad (101) \end{aligned}$$

De la même façon l'expression (100) devient :

$$\begin{aligned} d'_{g,j+2} = & d_{g,j}(1 - \delta') + C_{k,d,j} \delta' \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{\delta'}}{p_{b,j}} \\ & + a \delta' \operatorname{tg} \alpha 2 \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{\delta'}}{p_{b,j}} \quad (102) \end{aligned}$$

L'expression (101) peut s'écrire :

$$\begin{aligned} d_{g,j+2} = & d_{g,j}(1 - \delta')(1 - \delta') \\ & + C_{k,d,j} \delta' \times \\ & \times \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2\delta'} - \delta' p_{b,j} - \frac{\gamma_k a}{2} + p_{b,j} + \gamma_k a + \frac{\gamma_k a}{2\delta'}}{p_{b,j}} \right] \\ & + a \delta' \operatorname{tg} \alpha \times \\ & \times \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2\delta'} - \delta' p_{b,j} - \frac{\gamma_k a}{2} + 2p_{b,j} + 2\gamma_k a + \frac{\gamma_k a}{\delta'}}{p_{b,j}} \right] \quad (103) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{g,j+2} = & d_{g,j}(1 - \delta') - d_{g,j}(1 - \delta')\delta' \\ & + C_{k,d,j} \delta' \left[ \frac{2p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2} - \delta' p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{\delta'}}{p_{b,j}} \right] \\ & + a \delta' \operatorname{tg} \alpha \left[ \frac{3p_{b,j} + \frac{3}{2}\gamma_k a - \delta' p_{b,j} + \frac{3}{2}\frac{\gamma_k a}{\delta'}}{p_{b,j}} \right] \quad (104) \end{aligned}$$

$$d_{g,j+2} = d_{g,j}(1 - \delta') - d_{g,j}(1 - \delta')\delta' +$$

$$\begin{aligned}
& + C_{k,d,j} \delta' \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{\delta'}}{p_{b,j}} \right] + \\
& + C_{k,d,j} \delta' \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2} - \delta' p_{b,j}}{p_{b,j}} \right] + \\
& + a \delta' \operatorname{tg} \alpha \left[ \frac{2 p_{b,j} + 2 \frac{\gamma_k a}{\delta'}}{p_{b,j}} \right] \\
& + a \delta \operatorname{tg} \alpha \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{3}{2} \gamma_k a - \delta' p_{b,j} - \frac{1}{2} \frac{\gamma_k a}{\delta'}}{p_{b,j}} \right]
\end{aligned} \quad (105)$$

et compte tenu de (102):

$$\begin{aligned}
d_{g,j+2} & = d'_{g,j+2} - d_{g,j} (1 - \delta') \delta' \\
& + C_{k,d,j} \delta' \left[ \frac{p_{b,j} (1 - \delta') + \frac{\gamma_k a}{2}}{p_{b,j}} \right] + \\
& + a \delta' \operatorname{tg} \alpha \left[ \frac{p_{b,j} (1 - \delta') + \frac{3}{2} \gamma_k a - \frac{1}{2} \frac{\gamma_k a}{\delta'}}{p_{b,j}} \right]
\end{aligned} \quad (106)$$

Considérons le cas où  $\delta' = \frac{d}{D} \leq \frac{1}{10}$  de telle sorte que l'on puisse poser  $1 - \delta' \approx 1$ .

Nous négligeons  $\frac{3}{2} \gamma_k a$  par rapport à  $p_{b,j}$ .

Avec ces simplifications, l'expression (106) devient:

$$\begin{aligned}
d_{g,j+2} & = d'_{g,j+2} - d_{g,j} \delta' \\
& + C_{k,d,j} \delta' + a \delta' \operatorname{tg} \alpha \frac{p_{b,j} - \frac{1}{2} \frac{\gamma_k a}{\delta'}}{p_{b,j}}
\end{aligned} \quad (107)$$

et compte tenu de (96):

$$\begin{aligned}
d_{g,j+2} & = d'_{g,j+2} + (C_{k,d,j} - d_{g,j}) \delta' + \\
& + (C_{k,d,j+1} - C_{k,d,j}) \delta' \left( 1 - \frac{1}{2} \frac{\gamma_k a}{\delta' p_{b,j}} \right) \\
d_{g,j+2} - d'_{g,j+2} & = \delta' \left[ C_{k,d,j} - d_{g,j} + \right. \\
& \left. + (C_{k,d,j+1} - C_{k,d,j}) \left( 1 - \frac{1}{2} \frac{\gamma_k a}{\delta' p_{b,j}} \right) \right]
\end{aligned} \quad (108)$$

Nous obtenons ainsi la différence entre les valeurs calculées de  $d_g$ , lorsqu'on considère respectivement les intervalles  $a$  et  $2a$ .

Cette différence peut encore s'écrire:

$$\begin{aligned}
d_{g,j+2} - d'_{g,j+2} & = \delta' \left[ C_{k,d,j} - d_{g,j} + C_{k,d,j+1} - C_{k,d,j} \right. \\
& \left. - \frac{1}{2} \frac{\gamma_k a}{\delta' p_{b,j}} (C_{k,d,j+1} - C_{k,d,j}) \right] \\
d_{g,j+2} - d'_{g,j+2} & \cong \delta' \left[ C_{k,d,j+1} - d_{g,j} \right] - \\
& - \frac{1}{2} \frac{\gamma_k a}{p_{b,j}} (C_{k,d,j+1} - C_{k,d,j})
\end{aligned} \quad (109)$$

On a par hypothèse (voir fig. 26):

$$C_{k,d,j+1} > C_{k,d,j} \geq d_{g,j}.$$

Posons  $d_{g,j+2} - d'_{g,j+2} = \varepsilon$

$$\begin{aligned}
\varepsilon & = \delta' \left[ C_{k,d,j+1} - d_{g,j} \right] + \\
& - \frac{1}{2} \frac{\gamma_k a}{p_{b,j}} (C_{k,d,j+1} - C_{k,d,j})
\end{aligned} \quad (110)$$

On a  $\varepsilon = 0$ , lorsque:

$$\frac{C_{k,d,j+1} - d_{g,j}}{C_{k,d,j+1} - C_{k,d,j}} = \frac{1}{2} \frac{\gamma_k a}{p_{b,j} \delta'} \quad (111)$$

On a  $\varepsilon > 0$ , c'est-à-dire le cheminement avec des intervalles  $a$  donnera pour  $d_g$  des plus grandes valeurs que le cheminement avec les valeurs  $2a$ , lorsque:

$$\frac{C_{k,d,j+1} - d_{g,j}}{C_{k,d,j+1} - C_{k,d,j}} > \frac{1}{2} \frac{\gamma_k a}{p_{b,j} \delta'} \quad (112)$$

On a  $\varepsilon < 0$ , c'est-à-dire le cheminement avec des intervalles  $a$  donnera pour  $d_g$  de plus petites valeurs que le cheminement avec des valeurs  $2a$ , lorsque:

$$\frac{C_{k,d,j+1} - d_{g,j}}{C_{k,d,j+1} - C_{k,d,j}} < \frac{1}{2} \frac{\gamma_k a}{p_{b,j} \delta'} \quad (113)$$

Comme  $d_{g,j} \leq C_{k,d,j}$ , on a:

$$\frac{C_{k,d,j+1} - d_{g,j}}{C_{k,d,j+1} - C_{k,d,j}} \geq 1 \quad (114)$$

Afin que l'inégalité (112) soit toujours satisfaite, il faut veiller à ce que:

$$\frac{1}{2} \frac{\gamma_k a}{p_{b,j} \delta'} < 1 \quad (115)$$

$$\frac{1}{2} \frac{\gamma_k a}{p_{b,j}} \frac{D}{d} < 1 \quad (116)$$

$$\text{Où encore } p_{b,j} > \frac{1}{2} \gamma_k a \frac{D}{d} \quad (117)$$

On obtient ainsi la valeur critique de  $p_{b,j}$  à partir de laquelle l'inégalité (112) est certainement valable.

Supposons par exemple  $\gamma_k = 1 \text{ t/m}^3$ ,  $a = 0,20 \text{ m}$ . On trouve:

$$p_{b,j,\text{crit}} = \frac{1}{2} \times 1 \times 0,20 \frac{D}{d} = 0,10 \frac{D}{d} \quad (118)$$

ce qui pour des valeurs  $\frac{D}{d} = 10, 20, 30$  et  $40$  donne des valeurs pour  $p_{b,j,\text{crit}}$  de  $1, 2, 3$  et  $4 \text{ t/m}^2$ . Ces valeurs de  $p_{b,j,\text{crit}}$  correspondent à des profondeurs relativement faibles.

On peut en conclure que pour les problèmes pratiques de pieux la relation (112) est généralement satisfaite. Cette relation implique que plus l'entre-distance  $a$  est faible, d'autant plus grande sera la valeur calculée de  $d_g$ .

On aboutit à la conclusion inverse dans les régions où on aurait l'inégalité (113).

### EXEMPLE NUMERIQUE

Soit le cas de la figure 27.

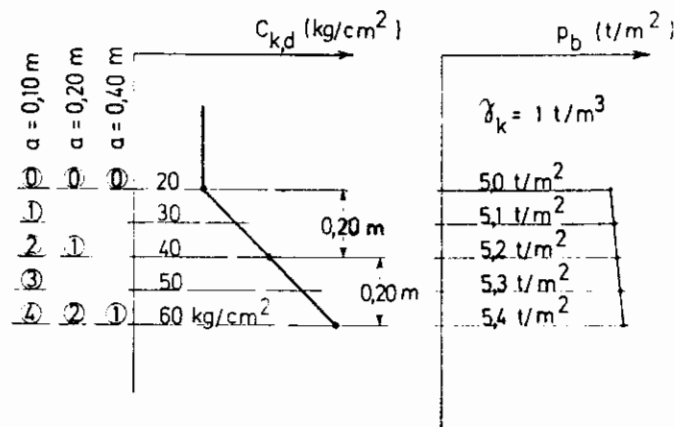


Fig. 27.

Supposons  $d_g^{(1)} = C_{k,d}$

$$d_{g,1} = C_{k,d,1} = 20 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{D}{d} = 10.$$

Pour que la méthode soit rationnelle au point de vue de la sécurité, il faut, d'après (116) que:

$$a \leq \frac{2 p_{b,j}}{\gamma_k} \frac{d}{D}$$

$$a \leq \frac{2 \times 5}{1} \cdot \frac{1}{10} = 1 \text{ m.}$$

La formule générale à employer, est la formule (84):

$$d_{g,j+1} = d_{g,j} + \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{D}{d} \frac{\gamma_k a}{2}}{p_{b,j} + \frac{\gamma_k a}{2}} C_{k,d,j+1} - d_{g,j} \right] \frac{d}{D} \quad (84)$$

$$d_{g,j+1} = d_{g,j} + \left[ \frac{p_{b,j} + 5a}{p_{b,j} + a/2} C_{k,d,j+1} - d_{g,j} \right] \frac{1}{10} \quad (119)$$

1°)  $a = 0,10 \text{ m}$

$$A = \frac{p_{b,j} + 5 \times a}{p_{b,j} + \frac{a}{2}} = \frac{p_{b,j} + 5 \times 0,10}{p_{b,j} + 0,05} = \frac{p_{b,j} + 0,50}{p_{b,j} + 0,05}$$

$$d_{g,j+1} = d_{g,j} + \left[ \frac{p_{b,j} + 0,50}{p_{b,j} + 0,05} C_{k,d,j+1} - d_{g,j} \right] \frac{1}{10}$$

On obtient les valeurs du tableau IVa.

TABLEAU IVa  
Calcul avec  $a = 0,10 \text{ m}$

Profondeur au-dessous du passage en m	j	$p_{b,j}$ t/m <sup>2</sup>	A	$C_{k,d,j+1}$ kg/cm <sup>2</sup>	A $C_{k,d,j+1}$ kg/cm <sup>2</sup>	$d_{g,j}$ kg/cm <sup>2</sup>
0	0	5,0				20
0,10	1	5,1	1,09	30	32,7	21,27
0,20	2	5,2	1,088	40	43,5	23,49
0,30	3	5,3	1,085	50	54,3	26,57
0,40	4	5,4	1,082	60	65,1	30,42

2°)  $a = 0,20 \text{ m}$

$$A = \frac{p_{b,j} + 5 \times 0,20}{p_{b,j} + \frac{0,20}{2}} = \frac{p_{b,j} + 1}{p_{b,j} + 0,10}$$

**TABLEAU IVb**

Calcul avec  $a = 0,20$  m

Profondeur au-dessous du passage en m	j	$p_{b,j}$ t/m <sup>2</sup>	A	$C_{k,d,j+1}$ kg/cm <sup>2</sup>	A $C_{k,d,j+1}$ kg/cm <sup>2</sup>	$d_{g,j}$ kg/cm <sup>2</sup>
0	0	5,0				20
0.20	1	5,2	1,177	40	47	22,7
0.40	2	5,4	1,17	60	70,2	27,45

3°)  $a = 0,40$  m

$$A = \frac{p_{b,j} + 5 \times 0,40}{p_{b,j} + \frac{0,40}{2}} = \frac{p_{b,j} + 2,0}{p_{b,j} + 0,20}$$

**TABLEAU IVc**

Calcul avec  $a = 0,40$  m

Profondeur au-dessous du passage en m	j	$p_{b,j}$ t/m <sup>2</sup>	A	$C_{k,d,j+1}$ kg/cm <sup>2</sup>	A $C_{k,d,j+1}$ kg/cm <sup>2</sup>	$d_{g,j}$ kg/cm <sup>2</sup>
0	0	5,0				20
0.40	1	5,4	1,345	60	80,7	26,07

$$d_{g;0,40}^{(a=0,40)} = 20 + \left[ \frac{5 + 5 \times 0,40}{5 + \frac{0,40}{2}} \times 60 - 20 \right] \cdot \frac{1}{10} = 26,07 \text{ kg/cm}^2$$

A 0,40 m de profondeur, on trouve donc les valeurs suivantes:

a m	$d_{g;0,40}$ kg/cm <sup>2</sup>
0,10	30,42
0,20	27,45
0,40	26,07

On constate que les valeurs décroissent lorsque l'intervalle considéré augmente.

L'écart entre les valeurs obtenues avec  $a = 0,10$  m et  $a = 0,40$  m est de:

$$E = \frac{30,42 - 26,07}{26,07} = 16,65\%$$

Comme en tout cas on se trouve du côté de la sécurité, un tel écart paraît acceptable.

Si les écarts étaient toujours du même ordre que celui trouvé dans l'exemple trouvé, on arriverait à la conclusion que l'on est assez libre dans le choix de l'entredistance « a ». Cela n'est malheureusement pas toujours le cas, comme il sera montré dans l'exemple suivant.

### c-2. Cas concret

Considérons le cas concret de l'essai de pénétration XXXII effectué sur les terrains de DEGUSSA à Anvers. Les résultats de cet essai sont dessinés à la figure 28. A partir de 8,50 m de profondeur on constate un accroissement très rapide des résistances à la pointe  $C_{k,d}$  dans une couche de sable très compact.

On se propose de déduire de ce diagramme les valeurs des capacités portantes limites unitaires d'un pieu battu avec une base  $\varnothing$  56 cm, et de dégager à cette occasion l'influence de la valeur de l'entredistance « a » arbitrairement choisie. Comme il s'agit d'un calcul relatif on remplacera le diagramme réel des valeurs  $C_{k,d}$  par une droite. Cette droite est représentée à la figure 29.

On utilisera successivement la formule (84) avec  $a = 0,10$  m; 0,20 m; 0,40 m; 0,80 m; 1,60 m.

On a:

$$\frac{D}{d} = \frac{56,5}{3,6} = 15,69.$$

Les résultats des calculs sont consignés au tableau V.

On y trouve successivement:

- à la 1<sup>ère</sup> colonne: les profondeurs au-dessous de la surface du sol,
- 2<sup>e</sup> colonne: les valeurs des contraintes effectives naturelles  $p_{b,j}$ ,
- 3<sup>e</sup> colonne: les valeurs de  $C_{k,d}$  en kg/cm<sup>2</sup> (voir droite fig. 29),
- 4<sup>e</sup> à 8<sup>e</sup> colonne: les valeurs de  $d_{g,j+1}$  correspondant aux différentes valeurs de a.

A titre de comparaison on a aussi calculé les valeurs de  $d_{g,j+1}$  par la méthode L.G.M. Ces valeurs sont renseignées à la 9<sup>e</sup> colonne du tableau V.

ESSAI DE PENETRATION XXXII à ANVERS

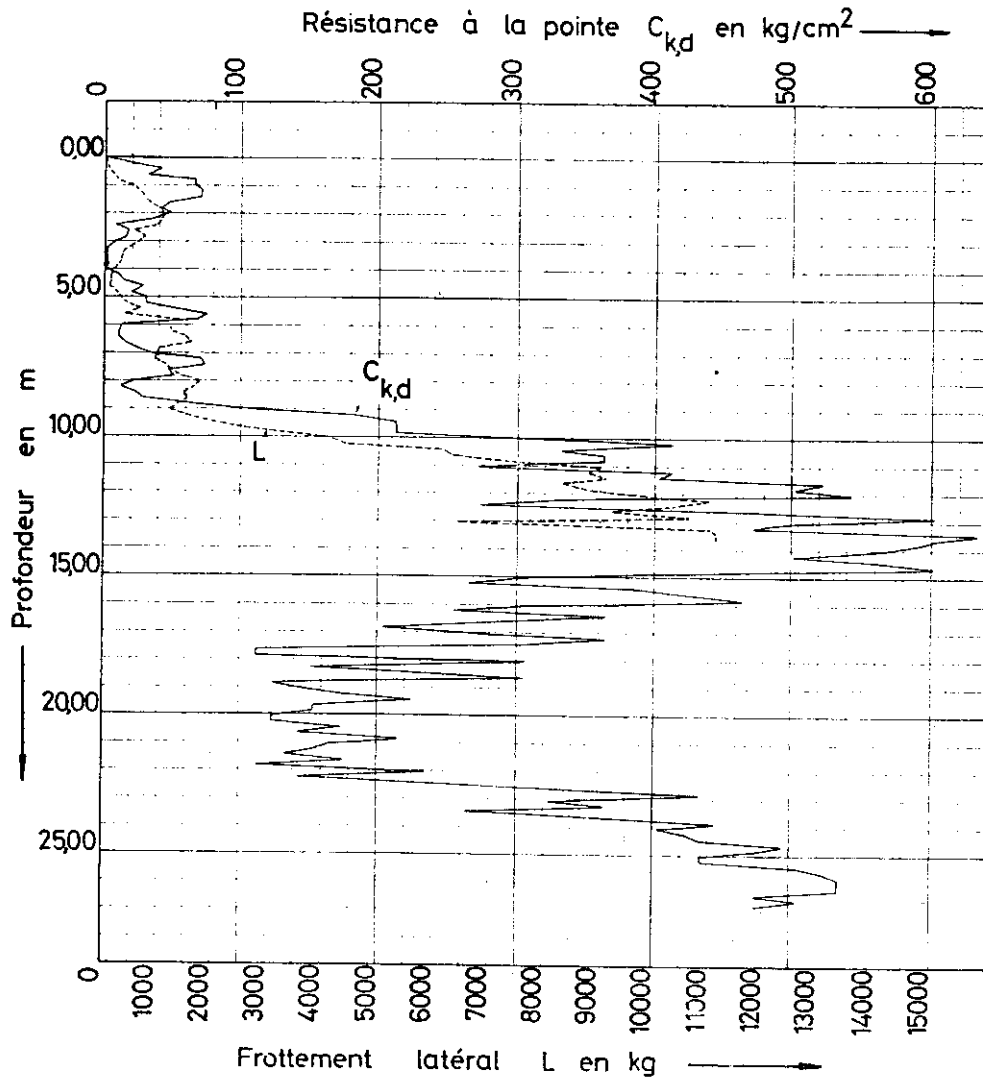


Fig. 28.

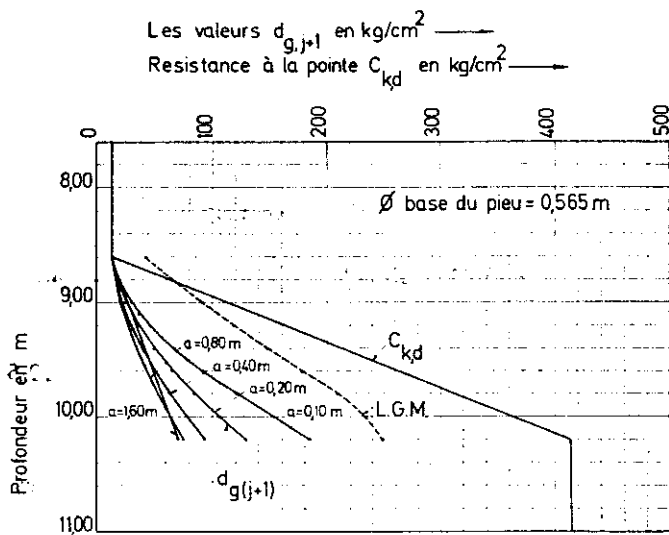


Fig. 29.

Toutes les valeurs calculées ont été dessinées à la figure 29.

Dans le cas considéré où les valeurs  $C_{k,d}$  croissent très rapidement et très considérablement avec la profondeur on constate des différences très notables en fonction de l'entredistance « a » considérée. Les valeurs obtenues à une profondeur donnée sont d'autant plus grandes que l'entredistance « a » est faible, du moins aussi longtemps que  $a \leq 0,80 \text{ m}$ .

Par contre les courbes  $d_{g,j+1}$  correspondant à  $a = 0,80 \text{ m}$  et  $a = 1,60 \text{ m}$  se coupent à une certaine profondeur. Ceci est conforme à la formule (117). En effet pour la valeur  $a = 1,60 \text{ m}$ , on a :

$$\frac{1}{2} \gamma_k a \frac{D}{d} = \frac{1}{2} \times 1,0 \times 1,60 \times 15,69 = 12,55 \text{ t/m}^2$$



TABLEAU V.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
profondeur	$p_{b,j}$	$C_{k,d}$	$d_{g,j-1}$ $a=0,10\text{ m}$	$d_{g,j+1}$ $a=0,20\text{ m}$	$d_{g,j+1}$ $a=0,40\text{ m}$	$d_{g,j+1}$ $a=0,60\text{ m}$	$d_{g,j+1}$ $a=0,80\text{ m}$	$\frac{d_{g,i} + d_{g,s}}{2}$ L.G.M.
m	t/m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
8,60	9,08	14	14	14	14	14	14	42,5
8,70	9,18	39	15,79					
8,80	9,28	64	19,19	17,84				66,6
8,90	9,38	89	24,05					
9,00	9,48	114	30,39	25,11	22,67			91,2
9,10	9,58	139	38,00					
9,20	9,68	164	46,83	35,57				118,9
9,30	9,78	189	56,05					
9,40	9,88	214	67,14	48,99	39,00	35,20		149,7
9,50	9,98	239	79,22					
9,60	10,08	264	92,23	65,77				177,6
9,70	10,18	289	105,11					
9,80	10,28	314	120,80	83,92	62,36			208,6
9,90	10,38	339	136,24					
10,00	10,48	364	152,39	105,05				234,4
10,10	10,58	389	168,20					
10,20	10,68	414	185,69	128,41	92,77	74,43	70,88	248,8
10,30	10,78	414						
10,40	10,88	414						
10,50	10,98	414						

et cette valeur est supérieure aux valeurs  $p_{b,j}$  qui sur l'épaisseur considérée varient entre 9,08 et 10,68 t/m<sup>2</sup>. Par contre pour des valeurs de  $a \leq 0,80$  m on a  $p_{b,j} > \frac{1}{2} \gamma_k a \frac{D}{d}$  avec la conséquence que  $d_{g,j}$  augmente lorsque « a » diminue.

La courbe obtenue par la méthode L.G.M. donne des valeurs nettement supérieures à toutes les autres courbes.

L'exemple traité qui correspond à un cas extrême illustre cependant clairement que dans certains cas l'influence de l'entredistance « a » est par trop importante, pour pouvoir la choisir arbitrairement et pour pouvoir l'assimiler sans plus à la profondeur critique  $h_{crit}$ .

Il faut donc nécessairement encore apporter un raffinement à la méthode, en vérifiant notamment que l'entredistance « a » introduite dans les calculs ne s'écarte pas trop des valeurs réelles de la profondeur critique.

**d. Influence du choix de l'entredistance « a ». Raffinement à apporter à la méthode en ce domaine**

Dans les essais de pénétration normaux les lectures se font à des entredistances  $a = 0,20$  m et avec un cône  $d = 3,6$  cm. D'autre part le diagramme de la figure 20 permet de déterminer à partir des valeurs de

$\varphi'$ , et pour  $\beta = \frac{\pi}{2}$ , les valeurs de  $h_{crit} : d$ .

A un angle  $\varphi' = 32^\circ 30'$  correspond une valeur

$$\left(\frac{h}{d}\right)_{crit} = 6,94 \text{ et donc } h_{crit} = 6,94 \times 3,6 = 25 \text{ cm.}$$

A la valeur  $\varphi' = 37^\circ 30'$  correspond  $\frac{h_{crit}}{d} = 12,5$  et donc une valeur  $h_{crit} = 12,5 \times 3,6 = 45$  cm.

D'autre part dès que la profondeur considérée est suffisamment grande, afin que  $p_{b,j} > \frac{1}{2} \gamma_k a \frac{D}{d}$  (117),

les valeurs calculées pour  $d_{g,j}$  sont d'autant plus faibles que l'entredistance « a » adoptée est grande.

Nous restons donc généralement du côté de la sécurité si nous introduisons des valeurs de « a » qui sont supérieures à la valeur réelle de  $h_{crit}$ .

C'est ce qui amène finalement à introduire le raffinement suivant:

Lorsque l'angle de frottement apparent  $\varphi'$  déduit de l'essai de pénétration est inférieur à  $32^\circ 30'$ , les calculs se font avec  $a = 0,20$  m. Si l'angle  $\varphi$  déduit des essais de pénétration est tel que  $32^\circ 30' \leq \varphi < 37^\circ 30'$  on effectue les calculs successivement avec  $h_{crit} = 0,20$  m et  $h_{crit} = 0,40$  m et on retient les valeurs les plus faibles, ainsi obtenues.

Enfin si l'angle  $\varphi$  déduit des essais de pénétration est tel que  $\varphi \geq 37^\circ 30'$  on effectue les calculs successivement avec  $h_{crit} = 0,20$  m ;  $0,40$  m et  $0,60$  m, et on retient les valeurs les plus défavorables ainsi obtenues.

Toujours pour des raisons de sécurité, il suffit que dans la zone considérée  $\varphi'$  dépasse à une profondeur une des limites indiquées, pour devoir appliquer les conditions se rapportant à la tranche supérieure.

Afin de ne pas accumuler outre-mesure les marges de sécurité, on limite les valeurs de  $h_{crit}$  à considérer au diamètre de la base du pieu dont on cherche la capacité portante limite.

Dès lors  $h_{crit} \leq D$ .

Comme en général les lectures se font à une entredistance  $a = 0,20$  m, on calcule la valeur « descendante »  $d_{g,j+1}$  par la formule:

$$d_{g,j+1} = d_{g,j} + \frac{a}{h_{crit}} \frac{d}{D} \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{D}{d} \frac{\gamma_k h_{crit}}{2}}{p_{b,j} + \frac{\gamma_k h_{crit}}{2}} d_{g,h_{crit}}^{(1)} - d_{g,j} \right] \quad (120)$$

avec successivement:

$$\begin{aligned} h_{crit} &= a & d_{g,h_{crit}}^{(1)} &= d_{g,j+1}^{(1)} \\ h_{crit} &= 2a & d_{g,h_{crit}}^{(1)} &= d_{g,j+2}^{(1)} \\ h_{crit} &= 3a & d_{g,h_{crit}}^{(1)} &= d_{g,j+3}^{(1)} \end{aligned}$$

et on procède ainsi vers le bas de  $0,20$  m en  $0,20$  m, ce qui permet d'utiliser toutes les lectures.

Les valeurs de  $h_{crit}$  sont donc assimilées à un multiple entier de l'entredistance des lectures. En ce

qui concerne la limitation de  $h_{crit}$  par rapport à  $D$ , toujours en vue de ne pas aboutir à une accumulation trop considérable des marges de sécurité, on convient de rabattre la valeur de  $h_{crit} \leq D$  vers le multiple inférieur de  $a$ .

Ainsi si  $D = 0,55$  m on a  $h_{crit} \leq D = 0,55$  m, et même si  $\varphi' \geq 37^\circ 30'$  on se limitera en ce cas à ne considérer qu'une valeur  $h_{crit} = 2 \times a = 2 \times 0,20 = 0,40$  m  $\leq D = 0,55$  m.

Au cas, où les lectures ont été faites à des entredistances  $a = 0,20$  m avec un cône  $\varnothing 3,6$  cm, on aboutit dès lors pour les valeurs  $h_{crit}$  à considérer, aux valeurs indiquées au tableau VI.

TABLEAU VI

Valeurs à considérer pour  $h_{crit}$  au cas d'essais de pénétration avec des lectures à des entredistances  $a = 0,20$  m et avec un cône  $\varnothing 3,6$  cm

D diamètre de la base du pieu battu	$\varphi'$ angle apparent déduit de l'essai de pénétration	$h_{crit}$ épaisseur critique à considérer dans la formule (120)
$D < 0,40$ m	—	0,20 m
$0,40 \text{ m} < D < 0,60$ m	$< 32^\circ 30'$	0,20 m
	$\geq 32^\circ 30'$	0,20 m et 0,40 m
$D \geq 0,60$ m	$< 32^\circ 30'$	0,20 m
	$32^\circ 30' < \varphi' < 37^\circ 30'$	0,20 m et 0,40 m
	$\varphi' \geq 37^\circ 30'$	0,20 m ; 0,40 m et 0,60 m

Le raffinement ainsi esquissé est uniquement à appliquer aux valeurs « descendantes »  $d_{g,j+1}$ . Pour les valeurs « montantes » on maintient la valeur  $a = 0,20$  m.

La valeur homogénéisée  $d_g^{(m)}$  continue à se calculer comme il a été exposé.

#### Application aux essais de l'I.R.A.B.A.

Remarquons tout d'abord que les essais de l'I.R.A.B.A. ont été effectués avec un cône de  $\varnothing 45$  mm. On doit donc en ce cas d'abord adapter les limites indiquées pour l'angle  $\varphi'$ .

Pour  $h_{crit} = 0,20$  m, on a  $\frac{h_{crit}}{d} = \frac{20}{4,5} = 4,45$  et par la figure 20:  
 $\varphi' = 27^\circ 30'$ .

Pour  $h_{crit} = 0,40$  m, on a  $\frac{h_{crit}}{d} = 8,90$  et la figure 20 donne:  
 $\varphi' = 35^\circ$ .

Pour  $h_{crit} = 0,60$  m, on a  $\frac{h_{crit}}{d} = 13,3$  et la figure 20 donne:  
 $\varphi' = 40^\circ$ .

Pour  $h_{crit} = 0,80$  m, on a  $\frac{h_{crit}}{d} = 17,7$  et la figure 20 donne:  
 $\varphi' = 42^\circ 30'$ .

D'autre part le tableau III indique que les valeurs de  $\varphi$  déduits de l'essai de pénétration varient entre  $40^\circ 30'$  et  $33^\circ 30'$ . A certaines profondeurs on devrait donc considérer pour  $h_{crit}$  des valeurs atteignant 0,80 m.

Dans les essais de l'I.R.A.B.A. les lectures ont été faites d'une façon continue. On a donc des lectures à chaque profondeur. De ce fait on n'a pas une entredistance « a » fixée par le mode d'exécution de l'essai. L'introduction d'une valeur  $a = 0,20$  m peut donc être considérée comme arbitraire. Comme le but poursuivi est toutefois de pouvoir dégager des essais de pénétration une valeur de la capacité portante de rupture à la base d'un pieu, située du côté de la sécurité, et qu'à cette fin on s'est déjà vu obligé d'introduire un certain nombre d'hypothèses simplificatrices, il ne peut y avoir d'objection majeure à ne prendre en compte que les lectures entredistantes de 0,20 m, même si l'on dispose de valeurs intermédiaires.

Pour le cas où l'essai de pénétration est effectué avec un cône  $\varnothing 4,5$  cm et en prenant en considération une entredistance réelle, sinon fictive, entre les lectures de 0,20 m, on peut établir le canevas du tableau VII.

Les pieux utilisés à l'I.R.A.B.A. ont respectivement  $\varnothing 110$  mm;  $\varnothing 216$  mm et  $\varnothing 320$  mm. On est dès lors dans le cas  $D < 0,40$  m et d'après le tableau VII l'unique valeur à considérer pour  $h_{crit}$  est  $h_{crit} = 0,20$  m.

Or les valeurs du tableau III ont été calculées dans cette hypothèse. La conclusion est que dans le cas des essais de l'I.R.A.B.A. le raffinement proposé n'implique aucune modification des résultats déjà trouvés.

TABLEAU VII

Valeurs à considérer pour  $h_{crit}$  au cas d'essais de pénétration avec des lectures entredistantes de  $a = 0,20$  m et avec un cône  $\varnothing = 4,5$  cm

D diamètre de la base du pieu	$\varphi'$ angle apparent déduit de l'essai de pénétration	$h_{crit}$ épaisseur critique à introduire dans la formule (120)
$D < 0,40$ m	—	0,20 m
$0,40 \text{ m} \leq D < 0,60$ m	$< 27^\circ 30'$	0,20 m
	$\geq 27^\circ 30'$	0,20 m et 0,40 m
$0,60 \text{ m} \leq D < 0,80$ m	$< 27^\circ 30'$	0,20 m
	$27^\circ 30' < \varphi' < 35^\circ$	0,20 m et 0,40 m
	$\varphi' \geq 35^\circ$	0,20 m ; 0,40 m et 0,60 m
$D \geq 0,80$ m	$< 27^\circ 30'$	0,20 m
	$27^\circ 30' < \varphi' < 35^\circ$	0,20 m et 0,40 m
	$35^\circ < \varphi' < 40^\circ$	0,20 m ; 0,40 m et 0,60 m
	$\varphi' \geq 40^\circ$	0,20 m ; 0,40 m ; 0,60 m et 0,80 m

## V. APPLICATIONS DES DIVERSES METHODES AU CAS DES ESSAIS DE PENETRATION A ZWIJNAARDE

### a-1. Généralités

A Zwijnaarde au droit du nouveau laboratoire de l'Institut Géotechnique de l'Etat on a effectué des

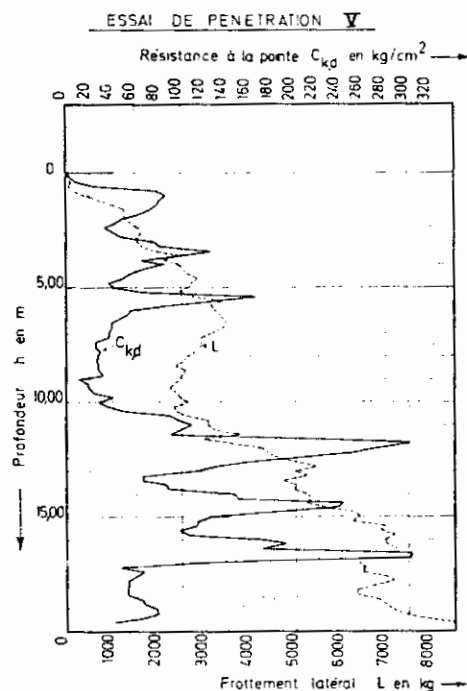


Fig. 30.

essais de pénétration au droit même où l'on a battu par après des pieux Franki à base surélargie. Ces pieux sont numérotés de III à VI et portent le même numéro que les essais de pénétration correspondants. Les pieux III et V ont été réalisés de telle façon que l'on puisse mesurer séparément la résistance à la base. Les 4 pieux ont été soumis à des essais de charge. Les caractéristiques des pieux sont rassemblées au tableau VIII.

TABLEAU VIII

Pieu		Profondeur au-dessous de la surface du sol de la section maximale centrée de la base en m	Diamètre moyen de la section maximale centrée de la base en m	Diamètre du fût en m
III	à frottement latéral éliminé	12,46	1,374	0,52
IV	fût Franki normal	12,54	1,375	0,52
V	à frottement latéral éliminé	7,66	1,531	0,52
VI	fût Franki normal	7,99	1,258	0,52

Les pieux courts V et VI ont été chargés jusqu'à la rupture. Pour le pieu V à frottement latéral éliminé on connaît dès lors exactement la capacité portante par résistance à la base, qui est de 234,5 t. Pour le pieu VI on a obtenu une capacité portante de rupture de 335 tonnes. Ces valeurs correspondent au critère Van der Veen. Dans la contribution [12], après défalcation de la quote-part due au frottement latéral, on a estimé la capacité portante de rupture par résistance à la base du pieu VI à 300 t. environ.

Les pieux longs III et IV, chargés à 300 tonnes, étaient encore très éloignés de la rupture. Dans la contribution [12] on a estimé que les capacités portantes de rupture de ces pieux étaient respectivement de l'ordre de 550 à 600 t. et de 600 à 650 t. Pour le pieu III à frottement latéral éliminé cette valeur correspond aussi à la résistance limite à la base; pour le pieu IV, après défalcation de la résistance de frottement latéral, on obtient d'après la contribution [12] une capacité de portance limite par résistance à la base de 550 à 600 t. Tous ces chiffres sont groupés au tableau IX.

TABLEAU IX

Pieu	Capacité portante de rupture en t.		Surface de la section maximale rée m <sup>2</sup>	d <sub>g,essai</sub>	
	totale	à la base		t/m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
III	550 à 600 t.	550 à 600 t.	1,483	387,8	38,8
IV	600 à 650 t.	550 à 600 t.	1,485	387,2	38,7
V	234,5	234,5	1,841	127,4	12,7
VI	335	300	1,243	241,4	24,1

Il est évidemment indiqué de contrôler quelles valeurs sont obtenues pour d<sub>g</sub> à partir des méthodes esquissées.

#### a-2. Détails des calculs.

A titre d'exemple nous allons détailler certains calculs afférant à l'essai de pénétration V. A la figure 30 on trouve la variation des valeurs C<sub>k,d</sub> exprimées en kg/cm<sup>2</sup> en fonction de la profondeur sous la surface du sol en m. La figure donne aussi la variation du frottement latéral total en kg. Les essais de pénétration ont été effectués avec un cône d = 3,6 cm avec une vitesse d'enfoncement de 2 cm/sec. Les valeurs de C<sub>k,d</sub> sont aussi renseignées à la 2<sup>e</sup> colonne du tableau X.

#### 1. Méthode L.G.M.

A titre d'exemple nous allons chercher la valeur d<sub>g</sub> valable pour un pieu de diamètre D = 2,531 m dont la base se trouve à 7,66 m de profondeur sous la surface du sol.

$$\text{On a: } \begin{aligned} 0,75 D &= 0,75 \times 1,531 = 1,15 \text{ m,} \\ 3,75 D &= 3,75 \times 1,531 = 5,74 \text{ m.} \end{aligned}$$

On doit considérer les couches jusqu'à une profondeur de 7,66 + 5,74 = 13,40 m.

D'autre part:

$$8 D = 8 \times 1,531 = 12,20 \text{ m} > 7,66 \text{ m.}$$

On doit donc considérer toutes les couches jusqu'à la surface du sol.

α) Calcul de d<sub>g,i,1</sub><sup>(n)</sup> formule (4).

On doit successivement prendre la moyenne des valeurs C<sub>k,d</sub> enregistrées

$$\text{entre } 7,66 \text{ et } 7,66 + 1,15 = 8,81 \text{ soit } 8,80 \text{ m,}$$

TABLEAU X. — Essai de la pénétration V à Zwijnaarde  $D_{moyen,c} = 1,531$  m.

Méthode L. G. M.						Méthode Meyerhof amendée							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
profondeur h	$C_{k,d}$	$d_{g,i,1}$	$d_{g,i,2}$	$d_{g,i}^{(n)}$	$d_{g,d}$	$d_g$	$C_{k,d,m,c}$	$C_{k,d,m,s}$	$C_{k,d,m}$	$C_{k,d,m}^{(a)}$	$d'_g$	$d_g$	
rn	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
0	0	0	0	0	0		1200	0	1081	1081	0	0	
0,20	4,33	52,05	24,69	38,37	$[ \frac{2,33 \times 0}{2} ] + 60 \times 0 \%$	= 0,02	19,20	55,22	0	12,42	12,42	0,16	0,16
0,40	8,35	56,19	29,07	42,63	$[ 4,33 + 59 \times 0 + \frac{112,5 \times 0}{2} ] \%$	= 0,11	24,37	60,13	0,44	13,64	13,64	0,36	0,36
0,60	23,38	59,06	31,86	45,86	$[ 8,35 + 4,33 + 58 \times 0 + \frac{14,02 \times 0}{2} ] \%$	= 0,30	23,08	63,72	0,44	14,65	14,65	0,54	0,54
0,80	78,41	60,77	32,64	46,71	$[ 23,38 + 8,35 + 4,33 + 57 \times 0 + \frac{12,64 \times 0}{2} ] \%$	= 0,86	23,78	64,75	1,16	15,47	15,47	0,81	0,81
1,00	86,44	58,34	32,64	45,49	$[ 32,64 + 23,38 + 8,35 + 4,33 + 56 \times 0 + \frac{12,64 \times 0}{2} ] \%$	= 1,39	23,44	60,55	3,69	16,48	16,48	1,08	0,98
1,20	80,47	55,20	32,64	43,92	$[ 2 \times 32,64 + 23,38 + 8,35 + 4,33 + 55 \times 0 + \frac{12,64 \times 0}{2} ] \%$	= 1,93	24,43	59,13	6,48	17,65	17,65	1,38	1,24
1,40	74,49	51,74	33,00	42,37	$[ 3 \times 32,64 + 23,38 + 8,35 + 4,33 + 54 \times 0 + \frac{12,64 \times 0}{2} ] \%$	= 2,46	22,42	55,50	9,08	19,32	19,32	1,78	1,54
1,60	72,52	47,77	25,34	36,56	$[ 4 \times 25,34 + 23,38 + 8,35 + 4,33 + 53 \times 0 + \frac{25,34 \times 0}{2} ] \%$	= 2,46	19,51	55,75	11,61	21,54	21,54	2,25	1,88
1,80	64,55	46,47	"	25,57	$[ 5 \times 25,34 + 23,38 + 8,35 + 4,33 + 52 \times 0 + \frac{25,34 \times 0}{2} ] \%$	= 2,88	19,40	61,55	13,95	24,66	24,66	2,90	2,23
2,00	48,58	43,93	"	27,68	$[ 6 \times 25,34 + 23,38 + 8,35 + 4,33 + 51 \times 0 + \frac{25,34 \times 0}{2} ] \%$	= 3,29	20,48	65,14	16,03	27,08	27,08	3,54	2,72
2,20	40,61	53,69	"	42,52	$[ 7 \times 25,34 + 23,38 + 8,35 + 4,33 + 50 \times 0 + \frac{25,34 \times 0}{2} ] \%$	= 3,71	23,12	66,94	17,40	28,40	28,40	4,12	3,23
2,40	32,64	60,82	"	43,08	$[ 8 \times 25,34 + 23,38 + 8,35 + 4,33 + 49 \times 0 + \frac{25,34 \times 0}{2} ] \%$	= 4,12	23,60	41,86	18,91	30,82	30,82	4,83	3,7
2,60	40,66	60,07	"	42,71	$[ 9 \times 25,34 + 23,38 + 8,35 + 4,33 + 48 \times 0 + \frac{25,34 \times 0}{2} ] \%$	= 4,54	23,63	75,74	19,96	32,44	32,44	5,51	4,14
2,80	46,69	59,57	"	42,43	$[ 10 \times 25,34 + 23,38 + 8,35 + 4,33 + 47 \times 0 + \frac{25,34 \times 0}{2} ] \%$	= 4,95	23,69	77,02	21,27	33,81	33,81	6,18	4,70
3,00	74,72	58,44	"	41,89	$[ 11 \times 25,34 + 23,38 + 8,35 + 4,33 + 46 \times 0 + \frac{25,34 \times 0}{2} ] \%$	= 5,37	23,63	77,27	22,78	35,04	35,04	6,87	5,23
3,20	70,75	56,50	11,56	34,03	$[ 12 \times 11,56 + 8,35 + 4,33 + 45 \times 0 + \frac{11,56 \times 0}{2} ] \%$	= 5,77	18,40	73,08	25,19	35,97	35,97	7,52	5,79
3,40	104,77	53,46	"	32,57	$[ 13 \times 11,56 + 8,35 + 4,33 + 44 \times 0 + \frac{11,56 \times 0}{2} ] \%$	= 6,16	18,74	69,66	27,79	36,94	36,94	8,24	6,35
3,60	96,00	50,27	"	30,32	$[ 14 \times 11,56 + 8,35 + 4,33 + 43 \times 0 + \frac{11,56 \times 0}{2} ] \%$	= 6,55	17,04	62,03	34,82	38,62	38,62	9,08	7,01
3,80	64,83	48,23	"	29,30	$[ 15 \times 11,56 + 8,35 + 4,33 + 42 \times 0 + \frac{11,56 \times 0}{2} ] \%$	= 6,94	16,62	69,61	34,94	42,74	42,74	10,61	8,08
4,00	24,86	46,75	"	29,18	$[ 16 \times 11,56 + 8,35 + 4,33 + 41 \times 0 + \frac{11,56 \times 0}{2} ] \%$	= 7,32	16,34	76,75	37,03	45,97	45,97	12,04	9,06
4,20	64,28	45,33	"	28,45	$[ 17 \times 11,56 + 8,35 + 4,33 + 40 \times 0 + \frac{11,56 \times 0}{2} ] \%$	= 7,71	16,08	74,78	39,17	49,16	49,16	13,20	9,88
4,40	54,82	44,35	"	27,96	$[ 18 \times 11,56 + 8,35 + 4,33 + 39 \times 0 + \frac{11,56 \times 0}{2} ] \%$	= 8,10	15,93	75,92	41,86	49,52	49,52	14,83	10,06
4,60	48,94	44,04	"	27,80	$[ 19 \times 11,56 + 8,35 + 4,33 + 38 \times 0 + \frac{11,56 \times 0}{2} ] \%$	= 8,49	15,95	75,12	43,63	50,85	50,85	15,88	11,45
4,80	36,97	44,07	"	27,80	$[ 20 \times 11,56 + 8,35 + 4,33 + 37 \times 0 + \frac{11,56 \times 0}{2} ] \%$	= 8,88	16,05	75,31	45,24	51,98	51,98	16,37	12,18
5,00	41,00	44,27	"	27,92	$[ 21 \times 11,56 + 8,35 + 4,33 + 36 \times 0 + \frac{11,56 \times 0}{2} ] \%$	= 9,27	16,20	75,56	46,41	52,97	52,97	17,10	12,88
5,20	65,03	43,93	"	27,75	$[ 22 \times 11,56 + 8,35 + 4,33 + 35 \times 0 + \frac{11,56 \times 0}{2} ] \%$	= 9,66	16,24	75,36	47,78	53,95	53,95	18,32	13,60

5.40	165.06	41.09	*	26.33	$[24 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 34 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 4.85	15.59	72.28	49.83	59.88	59.88	19.36	14.32
5.60	129.08	36.40	*	23.38	$[25 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 33 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 5.04	14.54	58.09	55.45	55.81	55.81	20.41	15.06
5.80	85.71	33.19	*	20.38	$[26 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 32 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 5.23	13.84	46.56	53.31	54.44	54.56	17.64	14.09
6.00	57.74	31.22	*	17.33	$[27 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 31 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 5.42	13.44	39.92	62.06	57.03	57.92	15.64	13.00
6.20	52.77	29.83	*	16.70	$[28 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 30 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 5.61	13.16	36.84	63.90	57.81	58.84	14.92	12.63
6.40	45.73	28.67	*	16.09	$[29 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 29 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 5.80	12.95	33.98	65.62	58.50	59.38	14.20	12.21
6.60	38.82	27.70	*	15.63	$[30 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 28 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 5.99	12.81	32.01	66.98	59.11	59.94	13.80	11.88
6.80	33.25	26.88	*	15.22	$[31 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 27 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 6.18	12.70	30.30	67.83	59.55	60.70	13.68	11.62
7.00	29.28	26.00	*	14.88	$[32 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 26 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 6.37	12.58	28.40	68.46	59.66	60.90	13.44	11.83
7.20	27.37	25.06	*	14.57	$[33 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 25 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 6.56	12.44	26.76	67.12	59.49	60.76	13.53	11.95
7.40	25.34	24.49	*	14.30	$[34 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 24 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 6.75	12.39	25.89	65.54	59.62	60.69	12.51	11.21
7.60	25.26	24.40	*	14.08	$[35 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 23 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 6.94	12.46	25.02	63.76	59.55	60.63	12.43	11.18
7.80	23.33	24.07	*	13.82	$[36 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 22 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 7.12	12.47	24.39	62.04	59.44	60.49	12.43	11.22
8.00	22.42	23.54	12.08	13.80	$[37 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 21 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 7.31	12.56	23.75	60.65	59.35	60.35	12.41	11.24
8.20	21.45	22.97	13.23	13.70	$[38 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 20 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 7.50	12.80	23.11	59.45	59.32	60.11	13.45	11.84
8.40	21.48	22.23	14.81	13.57	$[39 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 19 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 7.69	13.43	22.14	58.77	59.20	60.14	13.79	12.74
8.60	21.50	22.32	17.27	13.40	$[40 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 18 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 7.88	13.99	20.96	58.35	59.08	60.06	14.64	13.13
8.80	21.53	23.00	18.36	13.18	$[41 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 17 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 8.07	14.93	20.53	58.18	59.54	60.53	10.40	13.24
9.00	11.56	25.37	22.27	12.91	$[42 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 16 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 8.26	16.29	35.00	57.89	59.74	60.50	20.57	13.88
9.20	17.58	30.01	28.81	12.91	$[43 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 15 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 8.50	18.76	44.59	56.46	59.02	60.59	26.79	14.92
9.40	19.62	38.53	34.57	12.55	$[44 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 14 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 8.84	22.68	57.84	54.91	58.89	60.84	33.87	16.27
9.60	23.64	50.56	41.89	12.20	$[45 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 13 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 9.16	27.72	63.76	52.94	59.57	60.37	39.72	16.92
9.80	28.67	62.59	48.74	11.67	$[46 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 12 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 9.58	32.63	74.12	48.68	59.50	60.50	34.89	17.38
10.00	27.70	74.43	55.34	11.28	$[47 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 11 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 10.04	37.92	84.81	47.84	59.73	60.73	37.81	18.35
10.20	33.73	84.38	60.80	10.83	$[48 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 10 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 10.56	44.75	122.28	46.64	60.64	60.66	42.41	19.61
10.40	42.76	118.33	64.78	10.35	$[49 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 9 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 11.26	54.44	148.76	45.05	60.38	60.38	46.45	20.84
10.60	89.78	136.53	65.75	10.14	$[50 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 8 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 12.21	66.76	174.00	44.37	60.02	60.02	50.56	22.29
10.80	98.81	149.34	"	10.25	$[51 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 7 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 13.29	60.52	183.92	45.69	60.73	60.73	54.17	23.59
11.00	109.84	152.19	"	10.17	$[52 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 6 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 14.37	61.77	130.62	47.27	60.52	60.52	57.13	24.83
11.20	98.87	155.34	"	11.05	$[53 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 5 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 14.99	62.52	132.87	49.62	61.85	61.85	59.88	26.07
11.40	88.89	158.20	48.77	10.24	$[54 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 4 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 15.06	58.76	194.45	51.52	63.68	63.68	62.31	27.27
11.60	225.82	158.82	"	10.24	$[55 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 3 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 15.83	58.15	181.81	52.32	63.74	63.74	63.42	28.18
11.80	201.35	157.72	"	10.32	$[56 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 2 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 16.59	57.76	174.00	54.28	64.23	64.23	62.64	28.56
12.00	272.98	158.88	"	10.30	$[57 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 1 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 17.36	55.33	152.99	59.86	60.16	60.16	62.83	29.19
12.20	250.00	124.62	"	85.67	$[58 \times 11.56 + 8.35 + 4.33 + 0 \times 0 + \frac{11.56 \times 0}{2}] \times \frac{1}{161}$	= 18.12	51.90	129.01	65.95	60.28	60.28	63.98	30.06



entre 7,66 et 9,00  
entre 7,66 et 9,20

On a donc finalement:  
 $d_{g,i,1} = 24,40 \text{ kg/cm}^2$ .

β) Calcul de  $d_{g,i,2}^{(n)}$ .

entre 7,66 et 13,40 m  
et retenir la plus petite valeur.

La valeur de  $d_{g,i,2}^{(n)}$  se calcule à partir des valeurs  $C_{k,d}$  corrigées par rabais aux valeurs de retour.

Les calculs sont détaillés au tableau XI.

Il ne faut les poursuivre que jusque 9,80 m de profondeur. En effet, en considérant cette limite inférieure, la valeur de  $d_{g,i,1}^{(n)}$  commence à augmenter. Elle vaut  $25,06 \text{ kg/cm}^2$  et au-dessous de 9,80 m toutes les valeurs de  $C_{k,d}$  sont largement supérieures à cette valeur (voir tableau X). Il ne peut en résulter qu'une augmentation de  $d_{g,i,1}^{(n)}$ .

En parcourant la 2<sup>e</sup> colonne du tableau X, on constate qu'entre la profondeur de 7,60 m et de 13,40 m la plus petite valeur de  $C_{k,d}$  se trouve à 9,00 m de profondeur et vaut  $11,56 \text{ kg/cm}^2$ . Toutes les valeurs situées entre 7,60 m et 9,00 m doivent être ravalées jusque  $11,56 \text{ kg/cm}^2$ . Comme  $8,80 \text{ m} < 9,00 < 13,40 \text{ m}$ , la profondeur la plus défavorable correspondra à 9,00 m, et on aura :

$d_{g,i,2} = 11,56 \text{ kg/cm}^2$ .

TABLEAU XI.

profondeur ↓ m	n	8,80	9,00	9,20	9,40	9,60	9,80	10,00	10,20	10,40
7,60	1	1268								
7,80	2	2339								
8,00	3	2742								
8,20	4	2745								
8,40	5	2748								
8,60	6	2750	167,68							
8,80	7	15,76	15,76	189,22						
9,00	8	$\frac{167,68}{6}$	5,78	5,78	203,79					
9,20	9		$\frac{189,22}{7}$	8,79	8,79	222,39				
9,40	10	27,95		$\frac{203,79}{8}$	9,81	9,81	244,02			
9,60	11		27,03		$\frac{222,39}{9}$	11,82	11,82	275,67		
9,80	12			25,47		$\frac{244,02}{10}$	19,83	19,83	309,35	
10,00	13				24,71		$\frac{275,67}{11}$	13,85	13,85	341,06
10,20	14					24,40		$\frac{309,35}{12}$	17,86	17,86
10,40	15						25,06		$\frac{341,06}{13}$	24,88
10,60	16							25,78		$\frac{383,80}{14}$
10,80	17								26,24	
11,00	18									27,41
11,20	19									
11,40	20									
11,60	21									
11,80	22									
12,00	23									



La formule (3) donne finalement:

$$d_{g,i} = \frac{24,40 + 11,56}{2} = 17,98 \text{ kg/cm}^2.$$

γ) Calcul des  $d_{g,s}$

Entre 7,60 m et  $7,60 - 12,20 = -4,60$  m (au-dessus de la surface), il faut faire la moyenne de toutes les valeurs ravalées  $C'_{k,d,i}$ , obtenues en éliminant toutes les valeurs  $C_{k,d}$  qui sont plus grandes que celles qui les précèdent lorsqu'on parcourt le diagramme à partir de la base du pieu, la première valeur prise en considération étant la plus petite valeur trouvée entre les profondeurs 7,60 m et 13,40 m.

Cette plus petite valeur est trouvée à 9,00 m de profondeur et vaut  $11,56 \text{ kg/cm}^2$ . Donc toutes les valeurs supérieures à  $11,56 \text{ kg/cm}^2$  doivent être supprimées. C'est le cas jusque 0,60 m de profondeur.

On a donc:

$$\frac{7,60 - 0,60}{0,20} + 1 = 36 \text{ lectures de } 11,6 \text{ kg/cm}^2,$$

ensuite:

à 0,40 m  $8,3 \text{ kg/cm}^2$

à 0,20 m  $4,3 \text{ kg/cm}^2$

de 0 à -4,60  $\frac{4,60}{0,20} + 1 = 24$  lectures.

Total des lectures:

$$\frac{12,20}{0,20} + 1 = 62 \text{ lectures,}$$

$$36 + 1 + 1 + 24 = 62 \text{ lectures.}$$

La formule (6) donne:

$$d_{g,s} = \frac{35 \times 11,56 + 8,35 + 4,33 + 23 \times 0 + \frac{11,56 + 0}{2}}{62 - 1}$$

$$d_{g,s} = \frac{404,5 + 8,35 + 4,33 + 5,78}{61} = 6,94 \text{ kg/cm}^2$$

δ) Calcul de  $d_g$ .

La formule (1) donne:

$$d_g = \frac{d_{g,i} + d_{g,s}}{2} = \frac{17,98 + 6,94}{2} = 12,46 \text{ kg/cm}^2$$

Des calculs analogues peuvent être effectués à d'autres profondeurs. On obtient ainsi finalement pour un pieu  $\varnothing 1,531$  les capacités portantes de rupture par résistance à la base représentées par la courbe  $d_g$  de la figure 31c, en fonction de la profondeur de la base du pieu.

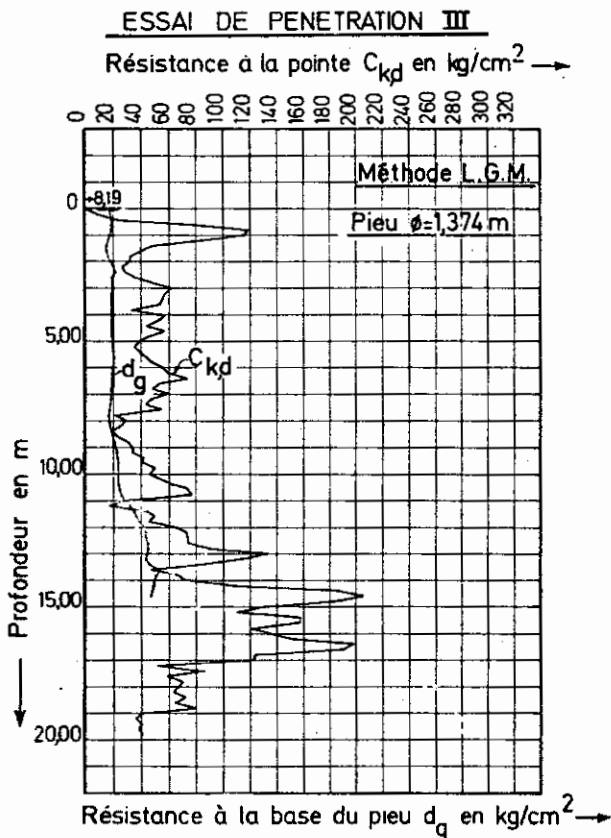


Fig. 31a.

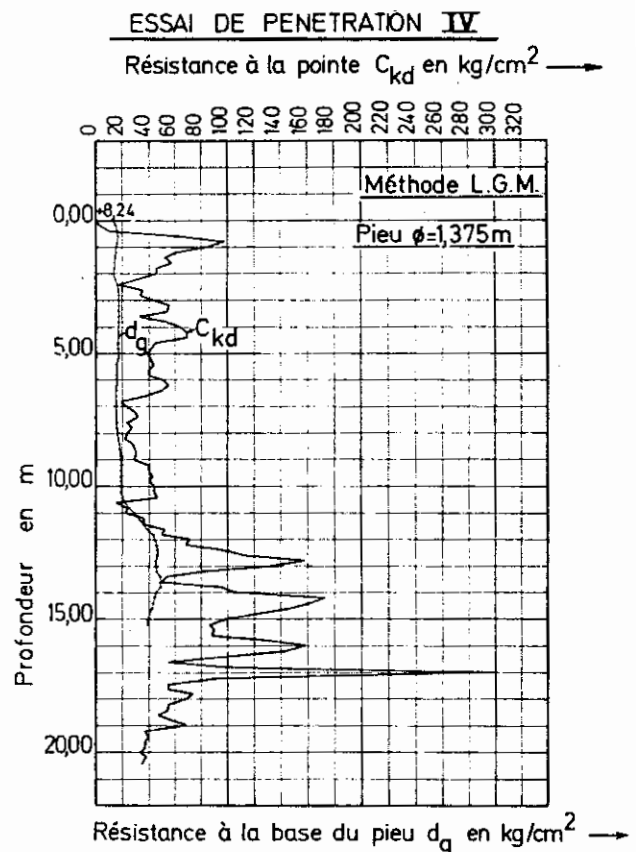


Fig. 31b.

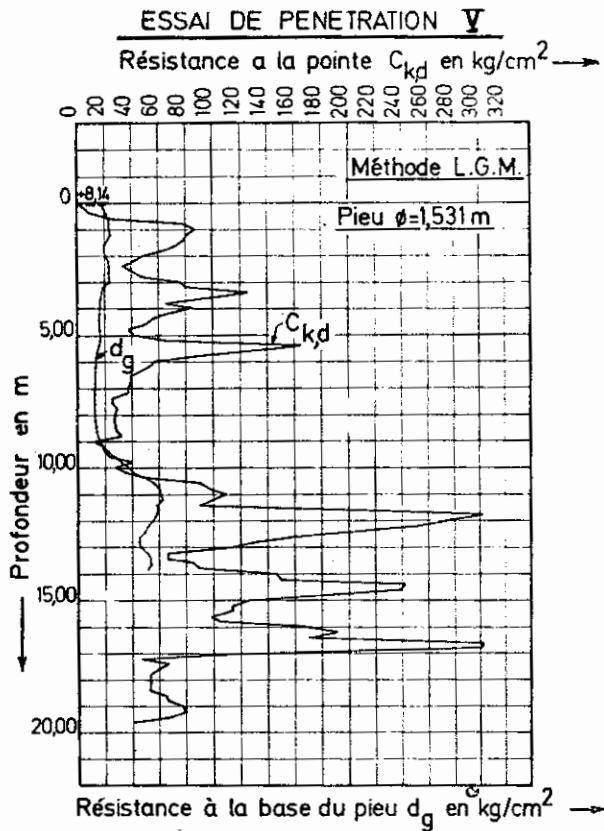


Fig. 31c.

Pour le pieu  $\varnothing 1,531$  avec sa base à 7,66 m de profondeur, on trouve une valeur de la capacité portante limite par résistance à la base de:

$$B_g = \frac{\pi \times 1,531^2}{4} \times 124,6 = 229,4 \text{ t.}$$

Des diagrammes L.G.M. analogues peuvent être établis pour les autres essais, et la capacité portante limite par résistance à la base  $B_g$  peuvent en être déduites.

Les données sont rassemblées au tableau XII et aux fig. 31a, 31b, et 31d.

## 2. Méthode de Meyerhof amendée.

Pour détailler les calculs considérons à nouveau l'essai V. Calculons à titre d'exemple la valeur de  $d_g$  pour un pieu  $\varnothing 1,531$  m dont la base se trouve à 7,60 m de profondeur.

Nous avons:

$$\begin{aligned} D &= 1,531 \text{ m} & 7,60 + 1,531 &= 9,131 \text{ m} \\ 4D &= 4 \times 1,531 \text{ m} & &= 6,124 \text{ m} \\ & & 7,60 - 6,124 &= 1,476 \text{ m} \end{aligned}$$

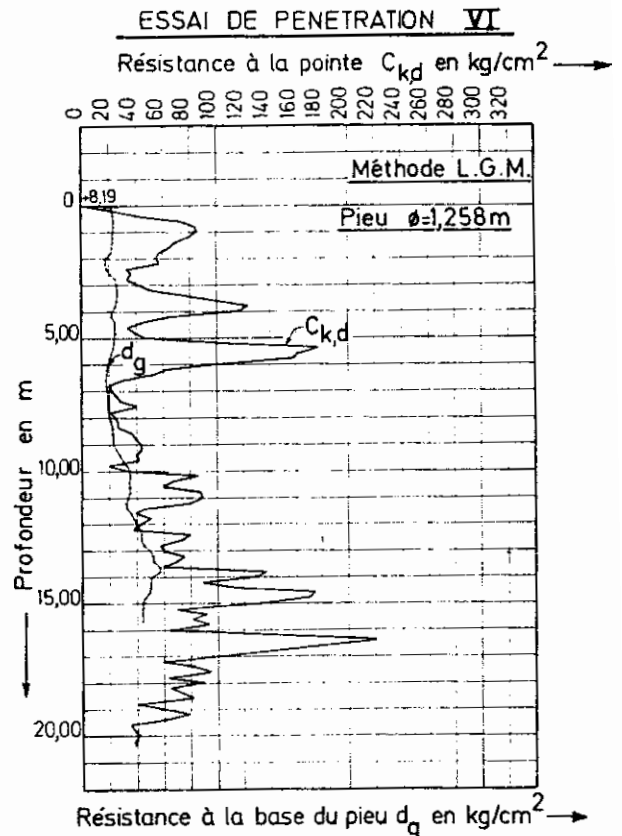


Fig. 31d.

On calcule la valeur moyenne des  $C_{k,d}$  sur 4 D au-dessus de 7,60 m.

On trouve:

$$\begin{aligned} C_{k,d,m,s} &= \frac{1}{31} (78,49 + 72,52 + 64,55 + 48,58 + \\ &+ 40,61 + 32,64 + 40,66 + 46,69 + \\ &+ 74,72 + 80,75 + 124,77 + 96,80 + \\ &+ 64,83 + 84,86 + 64,88 + 54,92 + \\ &+ 48,94 + 36,97 + 41,00 + 65,03 + \\ &+ 165,06 + 129,08 + 85,11 + 57,14 + \\ &+ 53,17 + 45,19 + 39,22 + 39,25 + \\ &+ 37,28 + 37,37 + 25,34) = \\ &= 63,76 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

On calcule la valeur moyenne de  $C_{k,d}$  sur 1 D au-dessous de 7,60 m.

On trouve:

$$\begin{aligned} C_{k,d,m,i} &= \frac{1}{9} (25,36 + 29,39 + 27,42 + 27,45 + \\ &+ 27,48 + 27,50 + 31,53 + 11,56 + \\ &+ 17,58) = 25,03 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

TABLEAU XII.

Profondeur	Essai III	Pieu III $\phi = 1,374 \text{ m}$			Essai IV	Pieu IV $\phi = 1,375 \text{ m}$			Essai V	Pieu V $\phi = 1,531 \text{ m}$			Essai VI	Pieu VI $\phi = 1,258 \text{ m}$		
	$C_{k,d}$	$d_g$			$C_{k,d}$	$d_g$			$C_{k,d}$	$d_g$			$C_{k,d}$	$d_g$		
		L.G.M.	M(a)	R.I.G.		L.G.M.	M(a)	R.I.G.		L.G.M.	M(a)	R.I.G.		L.G.M.	M(a)	R.I.G.
m	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	16,51	0	0	0	12,60	0	0	0	0	0	0	0	29,37	0	0
0,20	8,33	17,79	0,22	1,88	2,33	15,20	0,18	0,58	4,33	19,20	0,16	0,78	24,33	22,21	0,23	5,30
0,40	22,36	18,54	0,46	2,94	10,36	16,38	0,38	1,86	8,35	21,37	0,34	1,60	44,36	23,10	0,49	4,87
0,60	80,38	18,89	0,70	6,49	64,38	16,80	0,61	5,43	23,38	23,08	0,64	3,62	74,38	23,40	0,80	7,74
0,80	118,41	18,41	0,95	7,05	98,41	16,60	0,84	6,77	78,41	21,70	0,75	6,68	82,41	23,28	1,14	1,97
1,00	116,44	17,66	1,23	7,54	84,44	15,63	0,96	6,68	86,44	21,44	0,88	7,34	84,44	22,97	1,53	8,69
1,20	84,47	16,03	1,53	8,07	60,47	14,98	1,17	7,23	80,47	24,13	1,24	7,97	78,47	22,60	1,91	9,37
1,40	49,49	15,19	1,86	8,57	62,50	14,64	1,57	7,77	78,49	22,42	1,64	8,52	68,50	22,30	2,33	10,07
1,60	40,52	15,20	2,24	9,04	56,52	14,25	1,98	8,32	72,52	19,64	1,88	9,15	64,52	22,06	2,75	10,63
1,80	32,55	16,13	2,62	9,38	44,55	13,81	2,33	8,97	64,55	18,40	2,29	9,82	56,55	20,73	3,22	11,76
2,00	30,58	17,95	3,03	10,05	44,58	13,78	2,72	9,52	48,58	20,48	2,72	10,50	54,58	17,45	3,77	11,90
2,20	22,61	20,25	3,47	9,58	32,61	14,54	3,10	10,15	40,61	23,12	3,23	11,22	58,61	17,36	4,35	12,60
2,40	28,64	21,66	3,89	11,45	18,64	16,28	3,53	9,30	38,64	23,60	3,67	11,99	38,64	18,34	5,05	13,19
2,60	34,66	19,16	4,40	12,35	34,66	17,17	4,01	11,67	40,66	21,63	4,17	12,81	36,66	21,15	5,83	14,37
2,80	44,69	19,44	4,81	13,17	32,69	17,26	4,55	12,44	44,69	23,89	4,70	13,66	32,69	24,67	6,65	15,30
3,00	60,72	19,51	5,30	14,01	42,72	17,29	5,15	13,36	74,72	23,63	5,23	14,45	40,72	26,61	7,42	16,33
3,20	56,75	18,72	5,13	14,89	54,75	17,23	5,80	14,37	80,75	18,40	5,79	15,13	48,75	26,11	8,17	17,43
3,40	44,78	18,76	5,76	15,79	52,78	17,16	6,26	15,28	124,77	17,74	6,35	15,77	72,78	26,96	8,92	18,55
3,60	42,80	18,83	7,36	16,75	32,80	17,21	6,85	16,20	96,80	17,04	7,01	16,76	100,80	26,56	9,72	19,68
3,80	32,83	18,94	7,97	17,73	52,83	17,25	7,40	17,19	64,83	16,62	8,08	16,53	124,83	24,93	10,59	20,66
4,00	58,86	19,01	8,60	18,77	62,86	17,19	8,04	17,53	84,86	16,34	9,06	16,80	44,86	22,59	11,76	21,42
4,20	52,88	19,02	9,24	19,88	68,88	17,09	8,70	18,63	64,88	16,08	9,88	16,93	64,89	24,91	13,37	22,09
4,40	42,92	19,14	9,96	20,47	68,92	16,93	9,35	19,13	54,92	15,93	10,66	16,94	44,92	24,08	14,06	22,49
4,60	56,94	19,16	10,70	21,74	44,94	16,87	10,09	19,46	48,94	15,95	11,45	16,84	32,94	24,14	16,81	22,76
4,80	44,97	19,04	11,55	21,64	40,97	16,94	10,51	19,64	38,97	16,05	12,18	16,70	38,97	24,58	18,38	22,86
5,00	39,00	19,19	12,49	22,00	39,00	17,05	11,30	19,87	41,00	16,20	12,88	16,53	49,00	23,90	19,07	22,73
5,20	35,03	19,72	13,35	22,18	44,03	17,14	12,07	19,54	65,03	16,21	13,60	16,33	104,03	23,61	20,85	22,57
5,40	39,06	19,95	14,19	22,20	43,06	16,79	12,67	19,98	165,06	15,89	14,32	16,09	177,04	22,89	21,82	22,24
5,60	43,08	20,14	15,09	22,05	39,08	15,82	13,48	19,22	129,08	14,51	15,06	15,82	161,08	21,74	22,67	21,94
5,80	47,11	20,28	15,97	21,86	39,11	15,85	14,64	19,07	85,11	13,81	14,09	15,52	157,11	20,59	21,74	21,68

600	53,44	18,50	16,72	21,62	51,44	15,78	12,89	18,92	57,44	13,41	13,00	15,21	101,44	18,44	17,13	27,42
620	59,17	19,42	17,22	21,33	56,47	16,01	12,41	18,78	53,17	13,16	12,63	14,89	61,17	18,64	14,42	27,21
640	73,19	19,15	17,17	21,01	49,40	15,15	14,79	18,65	45,19	12,85	12,21	14,57	53,20	18,17	13,94	27,05
660	53,22	18,26	16,47	20,70	37,22	14,86	14,13	18,54	39,22	12,81	14,98	14,24	29,22	17,94	12,63	27,93
680	47,25	18,74	16,35	20,41	19,26	14,92	10,79	18,46	39,25	12,76	14,92	13,30	24,25	18,24	12,76	20,87
700	59,28	18,51	15,75	20,15	23,28	15,24	14,47	18,39	37,28	12,58	14,83	13,57	24,28	18,66	13,50	20,84
720	47,31	18,45	14,67	19,97	29,31	15,23	12,08	18,31	37,31	12,44	14,95	13,24	23,31	18,04	14,25	20,81
740	43,34	17,85	14,28	19,89	34,34	15,26	12,44	18,23	25,34	12,39	14,21	12,91	29,34	18,30	15,06	20,77
760	55,36	17,21	14,19	19,75	23,36	15,46	12,57	18,13	25,36	12,46	14,18	12,66	44,36	18,35	15,40	20,72
780	24,39	16,80	13,50	19,71	27,39	15,81	13,45	18,02	29,39	12,41	14,22	12,48	24,39	18,91	15,59	20,66
800	29,42	17,27	14,46	19,73	23,42	16,41	13,81	17,90	27,42	12,56	14,24	12,39	25,42	24,01	16,27	20,58
820	25,45	17,74	15,85	19,74	24,45	16,82	14,31	17,77	27,45	12,80	14,24	12,44	27,45	24,86	16,82	20,50
840	19,98	18,66	16,15	19,75	27,48	17,71	14,88	17,62	27,48	13,43	14,71	12,60	27,48	22,32	17,44	20,38
860	23,50	19,23	16,60	19,76	29,50	18,43	15,44	17,46	27,50	13,89	13,43	12,88	37,50	22,68	17,68	20,24
880	29,53	20,95	17,20	19,67	29,53	18,67	16,06	17,25	31,53	14,83	13,24	13,34	39,53	22,83	17,97	20,20
900	33,56	24,32	17,81	19,37	27,56	18,95	16,80	17,04	44,56	14,29	13,88	14,41	44,56	23,18	19,49	20,15
920	33,59	22,89	18,27	19,43	39,59	19,13	16,50	16,79	47,59	14,76	14,92	15,23	47,59	24,99	20,67	21,17
940	44,62	23,30	18,76	19,26	39,62	19,16	16,91	16,61	49,62	22,68	16,27	16,65	39,62	27,81	24,57	22,04
960	44,64	23,57	19,10	19,06	44,64	19,12	16,81	16,50	23,64	27,72	16,92	18,31	44,64	30,04	23,64	23,28
980	49,67	23,74	19,97	18,83	39,67	19,18	16,97	16,51	39,67	32,63	17,38	20,16	49,67	33,26	24,69	24,92
1000	45,70	22,84	19,78	18,74	43,70	19,28	17,48	16,65	27,70	34,42	18,26	22,53	33,70	34,85	25,70	26,89
1020	57,73	23,83	20,10	18,82	43,73	19,48	17,73	16,99	35,73	44,75	19,68	23,38	45,73	35,29	26,41	28,86
1040	64,76	24,01	20,56	19,06	45,76	20,18	18,27	17,50	49,76	51,41	20,94	28,62	64,76	35,71	26,60	30,63
1060	54,78	24,97	21,12	19,52	45,78	22,30	18,92	18,30	89,78	56,76	22,28	32,48	59,78	35,26	26,13	32,06
1080	57,81	26,45	24,74	20,25	23,81	25,47	19,49	19,35	97,81	60,52	23,59	36,63	67,81	35,04	25,60	33,47
1100	29,84	28,33	22,42	24,00	24,84	26,82	20,34	20,89	10,84	64,77	24,23	40,84	89,84	33,85	24,92	34,56
1120	17,87	32,18	23,06	22,02	35,87	32,19	21,87	22,37	89,87	62,52	24,07	44,77	84,87	32,57	25,20	35,56
1140	43,89	35,31	23,86	23,36	35,90	35,44	22,70	24,52	89,89	58,76	27,27	48,29	65,90	33,01	25,84	36,48
1160	49,92	37,08	24,97	24,98	54,92	39,41	23,81	27,01	225,92	59,45	28,18	51,67	39,92	35,91	26,40	37,43
1180	45,95	39,16	25,92	26,82	49,95	43,41	24,52	28,56	304,95	57,76	28,56	54,29	54,95	38,10	27,34	38,45
1200	63,98	42,33	26,54	28,76	74,98	44,52	25,02	32,05	273,98	55,33	28,79	56,40	43,98	38,90	28,43	39,56
1220	72,00	43,18	27,04	30,58	69,01	45,54	25,42	34,38	269,00	54,90	30,06	58,07	38,01	42,55	29,66	40,77
1240	74,04	43,80	27,76	32,32	90,04	46,31	26,86	36,75	206,04	49,57	34,47	58,84	80,04	43,82	30,67	42,05
1260	74,06	44,49	28,40	34,26	114,06	44,28	28,25	39,08	158,06	45,90	32,99	59,06	74,06	43,88	32,69	43,68
1280	89,08	45,09	28,60	36,28	158,09	44,78	30,25	44,10	130,09	45,41	35,25	58,89	58,09	45,86	34,54	45,88
1300	134,12	44,39	34,70	38,63	134,12	45,66	32,34	42,54	144,12	44,49	37,66	58,57	69,12	50,02	36,17	46,44
1320	144,15	43,20	34,04	40,85	82,15	46,88	33,69	43,50	66,15	51,21	39,78	58,38	76,15	52,51	38,00	47,64

12,40	82,18	44,45	36,63	42,68	54,48	48,80	34,90	44,22	64,18	53,79	44,65	58,02	73,48	52,66	40,73	48,00
13,60	89,20	53,24	38,58	44,26	48,20	49,08	36,10	44,78	86,20	54,00	43,40	57,59	69,20	57,03	43,43	49,34
13,80	69,23	40,91	40,44	45,73	96,23	49,27	37,24	45,24	94,13	54,81	45,28	57,08	138,23	57,20	45,26	49,88
14,00	72,26	48,34	43,04	46,89	104,26	45,48	38,12	45,36	116,26		47,08	56,49	130,26	50,90	46,42	49,89
14,20	108,28	48,02	45,79	48,02	114,29	44,68	38,56	45,13	150,29		48,94	55,87	90,29	50,48	47,90	49,53
14,40	186,32	48,16	47,34	48,67	162,32	43,63	44,16	44,75	242,32		54,41	53,06	114,32	50,37	48,58	49,13
14,60	206,34	46,44	48,58	48,62	146,34	42,69	43,06	44,30	232,34		54,19	54,23	116,34	49,80	50,88	48,65
14,80	182,37		50,81	48,20	122,37	40,33	44,76	43,78	182,37		56,89	53,33	110,37	46,77	51,88	48,09
15,00	130,40		53,04	47,70	98,40	39,76	46,44	43,19	126,40		61,02	52,35	130,40	44,42	53,68	47,51
15,20	110,43		55,37	47,10	86,43	39,38	47,08	42,53	114,43		65,29	51,70	79,43	44,67	56,04	46,90
15,40	158,46		57,00	46,41	90,46		48,49	41,88	114,47		66,45	50,75	94,46	44,38	57,75	46,27
15,60	158,48		58,70	45,61	88,48		51,89	41,24	99,48		68,88	48,90	82,48	44,02	58,33	45,59
15,80	122,51		59,66	44,72	130,51		53,40	40,58	106,51		74,99	47,75	94,51		60,67	44,84
16,00	134,54		60,81	43,86	158,54		54,43	39,89	166,55		73,38	46,68	62,54		61,23	44,04
16,20	159,57		64,84	43,03	142,57		58,88	38,23	180,57		75,73	45,72	142,57		62,04	43,27
16,40	138,60		62,90	42,25	94,60		57,59	38,61	170,60		73,10	44,86	218,60		63,02	42,49
16,60	190,62		61,00	41,51	54,62		59,00	38,03	302,62		68,72	44,77	186,62		64,04	41,70
16,80	122,65			40,84	96,65		60,04	37,50	302,65		54,82	43,49	142,65		62,58	40,92
17,00	122,68			40,24	102,68		58,74	36,86	122,68			43,02	106,68		58,64	40,19
17,20	52,71			39,73	94,71			36,40	46,71			42,70	58,71		57,19	39,49
17,40	86,74			38,31	54,74			35,89	66,74			42,55	86,74		38,84	
17,60	52,76			38,85	54,76			35,42	58,76			42,39	94,76		38,14	
17,80	70,79			38,42	74,79			34,97	62,79			42,20	62,79		37,50	
18,00	66,82			38,08	66,82			34,56	52,82			42,00	90,82		36,92	
18,20	62,85			37,74	54,85			34,20	52,84				64,85		36,40	
18,40	72,88				64,88				52,88				74,88		35,85	
18,60	67,90				46,90				33,66				82,90		35,64	
18,80	80,93				58,93				33,50				110,93		35,50	
19,00	40,96				64,96				33,42				64,96		35,62	
19,20	36,99				36,99				78,99				78,99		35,62	
19,40	44,02				39,02				67,02				59,02			
19,60	59,04				37,04				44,04				35,04			
19,80	44,07				37,07								39,07			
20,00					33,10								11,10			
20,20					37,13								39,13			
20,40					35,16								39,16			

Puisque:

$$C_{k,d,m,s} = 63,76 \text{ kg/cm}^2 > C_{k,d,m,i} = 25,03 \text{ kg/cm}^2$$

on pose:

$$C_{k,d,m}^{(a)} = C_{k,d,m,i} = 25,03 \text{ kg/cm}^2.$$

On a:

$$\frac{H}{10D} = \frac{7,60}{10 \times 1,531} = 0,496 < 1.$$

On calcule dès lors:

$$d'_g = \frac{H}{10D} C_{k,d,m}^{(a)} = 0,496 \times 25,03 = 12,43 \text{ kg/cm}^2.$$

On calcule de la même façon  $d'_g$  à toutes les profondeurs. Les valeurs ainsi trouvées sont renseignées à la colonne 12 du tableau X.

$$\begin{aligned} \text{On a: } 10D &= 10 \times 1,531 = 15,31 \text{ m} \\ 3D &= 3 \times 1,531 = 4,593 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{On a: } 15,31 \text{ m} > 7,60 \text{ m}.$$

La zone d'influence au-dessus du pieu de 7,60 m de longueur dépasse donc la surface du sol.

Au-dessous du pieu la zone d'influence s'étend jusqu'à la profondeur de:

$$7,60 + 4,593 = 12,193 \text{ m}.$$

Il s'agit maintenant d'appliquer les formules (16) et (17).

A cette fin il faut calculer les rapports:

$$\frac{h_{s,v}}{10D} \leq 1 \text{ et } \frac{h_{i,\mu}}{3D} \leq 1.$$

On a:

$$\frac{h_{s,v}}{10D} = \frac{n_v \times 0,20}{10D}$$

$$n_v \text{ varie de } 0 \text{ à } N_v = \frac{10D}{0,20} = 50D. \quad (121)$$

On a d'autre part:

$$\frac{h_{s,\mu}}{3D} = \frac{n_\mu \times 0,20}{3D}$$

$$n_\mu \text{ varie de } 0 \text{ à } N_\mu = \frac{3D}{0,20} = 15D. \quad (122)$$

On peut écrire les valeurs de  $\frac{h_{s,v}}{10D}$  et  $\frac{h_{s,\mu}}{3D}$  sur un papier séparé (tableau XIII), que l'on place sur le tableau X, de telle façon que la rangée  $n_v = 0$  et  $n_\mu = 0$  correspond avec la profondeur où l'on désire calculer la valeur de  $d_g$ .

Pour le cas du pieu  $D = 1,531$  m on a:

$$N_v = 50 \times 1,531 = 77 \text{ lectures,}$$

$$N_\mu = 15 \times 1,531 = 23 \text{ lectures.}$$

On obtient pour  $\frac{h_{s,v}}{10D}$  et  $\frac{h_{s,\mu}}{3D}$  les valeurs renseignées au tableau XIII.

Il suffit maintenant de glisser les tableaux XIIIa et XIIIb le long du tableau X. Au niveau où l'on désire calculer  $d_g$  on lit la valeur  $C_{k,d,m}^{(a)}$  à la colonne 11 du tableau X. Aux profondeurs au-dessus du niveau considéré où  $d_{g,v}$  est inférieur à  $C_{k,d,m}^{(a)}$ , on lit la valeur  $d'_{g,v}$  à la colonne 12 du tableau X; on fait la différence  $C_{k,d,m}^{(a)} - d'_{g,\min,v}$ ; on multiplie cette différence par la valeur correspondante  $h_{s,v}$ :  $10D$  du tableau XIII et on ajoute le produit à  $d'_{g,\min,v}$ .

On effectue ce calcul pour toutes les valeurs  $n_v$ , où  $d'_{g,v} < C_{k,d,m}^{(a)}$ .

De même, aux profondeurs au-dessous du niveau considéré où  $d'_{g,\mu}$  est inférieur à  $C_{k,d,m}^{(a)}$ , on lit la valeur  $d'_{g,\mu}$  à la colonne 12 du tableau X, et on procède d'une façon analogue que pour les valeurs  $d_{g,v}$  trouvées au-dessus du niveau considéré.

Ainsi pour le pieu  $\varnothing 1,531$  m avec sa base à 7,60 m de profondeur on a (colonne 11):

$$C_{k,d,m}^{(a)} = 25,03 \text{ kg/cm}^2.$$

Une première valeur de  $d'_{g,v}$  inférieure à  $C_{k,d,m}^{(a)} = 25,03 \text{ kg/cm}^2$  est trouvée à 7,40 m de profondeur.

On a:

$$n_v = 1 \quad \text{et} \quad d'_{g,1} = 12,51 \text{ kg/cm}^2.$$

On a:

$$0,013 \times n_v = 0,013.$$

$$d_{g,v} = 12,51 + 0,013(25,03 - 12,51) = 12,67 \text{ kg/cm}^2$$

TABLEAU XIII. — D = 1,153 m.

a		b	
$n_v$	$\frac{h_{s,v} = n_v \times 0,20}{10 D = 10 \times 1,531} = 0,013 n_v$	$n_\mu$	$\frac{h_{s,\mu} = n_\mu \times 0,20}{3D = 3 \times 1,531} = 0,044 n_\mu$
77	1,000	0	0
76	0,993	1	0,044
75	0,980	2	0,087
74	0,967	3	0,131
73	0,954	4	0,174
72	0,941	5	0,218
71	0,927	6	0,261
70	0,914	7	0,305
69	0,901	8	0,349
68	0,888	9	0,392
67	0,875	10	0,435
66	0,862	11	0,479
65	0,849	12	0,523
64	0,836	13	0,566
63	0,823	14	0,610
62	0,810	15	0,653
61	0,797	16	0,697
60	0,784	17	0,740
59	0,771	18	0,784
58	0,758	19	0,827
57	0,745	20	0,871
56	0,732	21	0,914
55	0,718	22	0,958

Tableau-glissant auxiliaire dans la méthode de Meyerhof amendée.

54	0,705	23	1,000
53	0,692		
52	0,679		
51	0,666		
50	0,653		
49	0,640		
48	0,627		
47	0,614		
46	0,601		
45	0,588		
44	0,575		
43	0,562		
42	0,549		
41	0,536		
40	0,523		
39	0,509		
38	0,496		
37	0,483		
36	0,470		
35	0,457		
34	0,444		
33	0,431		
32	0,418		
31	0,405		
30	0,392		
29	0,379		
28	0,366		



25	0,327		
24	0,314		
23	0,300		
22	0,287		
21	0,274		
20	0,261		
19	0,248		
18	0,235		
17	0,222		
16	0,209		
15	0,196		
14	0,183		
13	0,170		
12	0,157		
11	0,144		
10	0,131		
9	0,118		
8	0,105		
7	0,091		
6	0,078		
5	0,065		
4	0,052		
3	0,039		
2	0,026		
1	0,013		
0	0		

D'une façon analogue:

à 7,20 m	$n_v = 2$	$d'_{g,v} = 13,53 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 13,83 \text{ kg/cm}^2$
à 7,00 m	$n_v = 3$	$d'_{g,v} = 13,44 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 13,89 \text{ kg/cm}^2$
à 6,80 m	$n_v = 4$	$d'_{g,v} = 13,68 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 14,27 \text{ kg/cm}^2$
à 6,60 m	$n_v = 5$	$d'_{g,v} = 13,80 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 14,53 \text{ kg/cm}^2$
à 6,40 m	$n_v = 6$	$d'_{g,v} = 14,20 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 15,05 \text{ kg/cm}^2$
à 6,20 m	$n_v = 7$	$d'_{g,v} = 14,92 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 15,84 \text{ kg/cm}^2$
à 6,00 m	$n_v = 8$	$d'_{g,v} = 15,64 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 16,63 \text{ kg/cm}^2$
à 5,80 m	$n_v = 9$	$d'_{g,v} = 17,64 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 18,51 \text{ kg/cm}^2$
à 5,60 m	$n_v = 10$	$d'_{g,v} = 20,41 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 21,02 \text{ kg/cm}^2$

à 5,40 m	$n_v = 11$	$d'_{g,v} = 19,36 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 20,18 \text{ kg/cm}^2$
à 5,20 m	$n_v = 12$	$d'_{g,v} = 18,32 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 19,37 \text{ kg/cm}^2$
à 5,00 m	$n_v = 13$	$d'_{g,v} = 17,30 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 18,61 \text{ kg/cm}^2$
à 4,80 m	$n_v = 14$	$d'_{g,v} = 16,30 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 17,90 \text{ kg/cm}^2$
à 4,60 m	$n_v = 15$	$d'_{g,v} = 15,28 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 17,19 \text{ kg/cm}^2$
à 4,40 m	$n_v = 16$	$d'_{g,v} = 14,23 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 16,49 \text{ kg/cm}^2$
à 4,20 m	$n_v = 17$	$d'_{g,v} = 13,20 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 15,83 \text{ kg/cm}^2$
à 4,00 m	$n_v = 18$	$d'_{g,v} = 12,01 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 15,07 \text{ kg/cm}^2$
à 3,80 m	$n_v = 19$	$d'_{g,v} = 10,61 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 14,19 \text{ kg/cm}^2$
à 3,60 m	$n_v = 20$	$d'_{g,v} = 9,08 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 13,24 \text{ kg/cm}^2$
à 3,40 m	$n_v = 21$	$d'_{g,v} = 8,21 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 12,82 \text{ kg/cm}^2$
à 3,20 m	$n_v = 22$	$d'_{g,v} = 7,52 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 12,55 \text{ kg/cm}^2$
à 3,00 m	$n_v = 23$	$d'_{g,v} = 6,87 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 12,32 \text{ kg/cm}^2$
à 2,80 m	$n_v = 24$	$d'_{g,v} = 6,18 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 12,10 \text{ kg/cm}^2$
à 2,60 m	$n_v = 25$	$d'_{g,v} = 5,51 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 11,89 \text{ kg/cm}^2$
à 2,40 m	$n_v = 26$	$d'_{g,v} = 4,83 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 11,70 \text{ kg/cm}^2$
à 2,20 m	$n_v = 27$	$d'_{g,v} = 4,12 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 11,50 \text{ kg/cm}^2$
à 2,00 m	$n_v = 28$	$d'_{g,v} = 3,54 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 11,41 \text{ kg/cm}^2$
à 1,80 m	$n_v = 29$	$d'_{g,v} = 2,90 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 11,18 \text{ kg/cm}^2$
à 1,40 m	$n_v = 31$	$d'_{g,v} = 1,78 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 11,20 \text{ kg/cm}^2$
à 1,20 m	$n_v = 32$	$d'_{g,v} = 1,38 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 11,27 \text{ kg/cm}^2$
à 1,00 m	$n_v = 33$	$d'_{g,v} = 1,08 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 11,40 \text{ kg/cm}^2$
à 0,80 m	$n_v = 34$	$d'_{g,v} = 0,81 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 11,56 \text{ kg/cm}^2$
à 0,60 m	$n_v = 35$	$d'_{g,v} = 0,57 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 11,75 \text{ kg/cm}^2$
à 0,40 m	$n_v = 36$	$d'_{g,v} = 0,36 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 11,96 \text{ kg/cm}^2$
à 0,20 m	$n_v = 37$	$d'_{g,v} = 0,16 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 12,17 \text{ kg/cm}^2$
à 0 m	$n_v = 38$	$d'_{g,v} = 0 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 12,42 \text{ kg/cm}^2$

Au-dessous de 7,60 m on trouve à 7,80 m de profondeur une valeur  $d'_{g,v}$  inférieure à  $C_{k,d,m}^{(n)}$ ,  $n_\mu = 1$ , notamment  $d'_{g,\mu} = 12,43 \text{ kg/cm}^2$ .

On trouve dès lors, par application de la formule (17):

$$d_{g,\mu} = 12,43 + 0,044 (25,03 - 12,43) = 12,98 \text{ kg/cm}^2.$$

D'une façon analogue:

à 8,00 m de profondeur	$n_\mu = 2$	$d'_{g,\mu} = 12,41 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,\mu} = 13,51 \text{ kg/cm}^2$
à 8,20 m de profondeur	$n_\mu = 3$	$d'_{g,\mu} = 13,45 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,\mu} = 14,97 \text{ kg/cm}^2$
à 8,40 m de profondeur	$n_\mu = 4$	$d'_{g,\mu} = 13,79 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,\mu} = 15,75 \text{ kg/cm}^2$
à 8,60 m de profondeur	$n_\mu = 5$	$d'_{g,\mu} = 14,64 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,\mu} = 16,91 \text{ kg/cm}^2$
à 8,80 m de profondeur	$n_\mu = 6$	$d'_{g,\mu} = 16,4 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,\mu} = 18,65 \text{ kg/cm}^2$
à 9,00 m de profondeur	$n_\mu = 7$	$d'_{g,\mu} = 20,57 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,\mu} = 21,93 \text{ kg/cm}^2$

En définitive la plus petite de toutes les valeurs de  $d_{g,v}$  et  $d_{g,u}$  calculées, vaut  $d_g = 11,18 \text{ kg/cm}^2$ . C'est cette valeur qui est finalement inscrite à 7,60 m de profondeur, à la colonne 13 du tableau X.

Des calculs analogues ont été effectués pour les autres essais de Zwijnaarde, et les calculs sont renseignés au tableau XII.

Les valeurs de  $d_g$  ainsi obtenues par la méthode de Meyerhof amendée sont représentées par les courbes  $d_g$  des figures 32.

### 3. Méthode R.I.G.

Appliquons la méthode R.I.G. pour déterminer la capacité portante de rupture à la base d'un pieu  $\varnothing 1,531 \text{ m}$ , dont la base se trouve au droit de l'essai V à 7,66 m de profondeur.

L'essai V a été effectué avec un cône  $\varnothing 3,6 \text{ cm}$ .

Dès lors:

$$\frac{D}{d} = \frac{153,1}{3,6} = 42,5.$$

### ESSAI DE PENETRATION IV

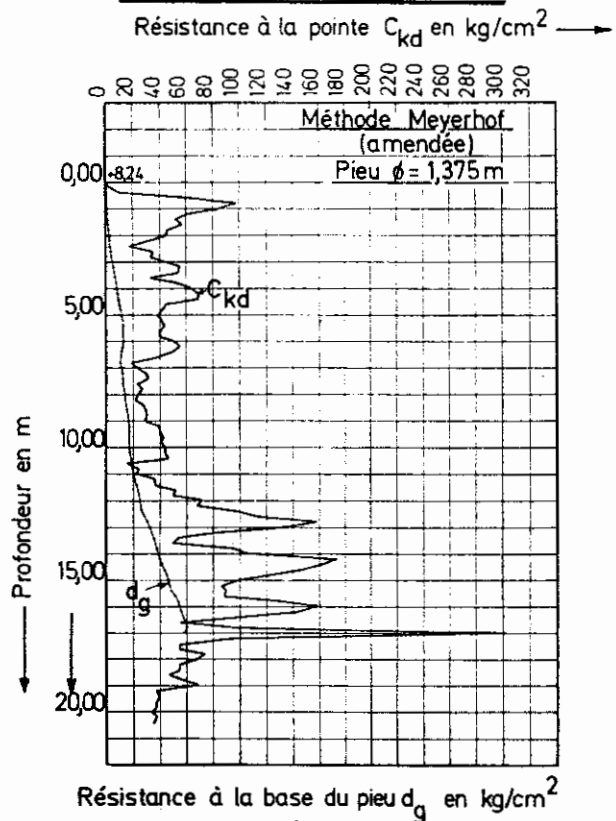


Fig. 32b.

### ESSAI DE PENETRATION III

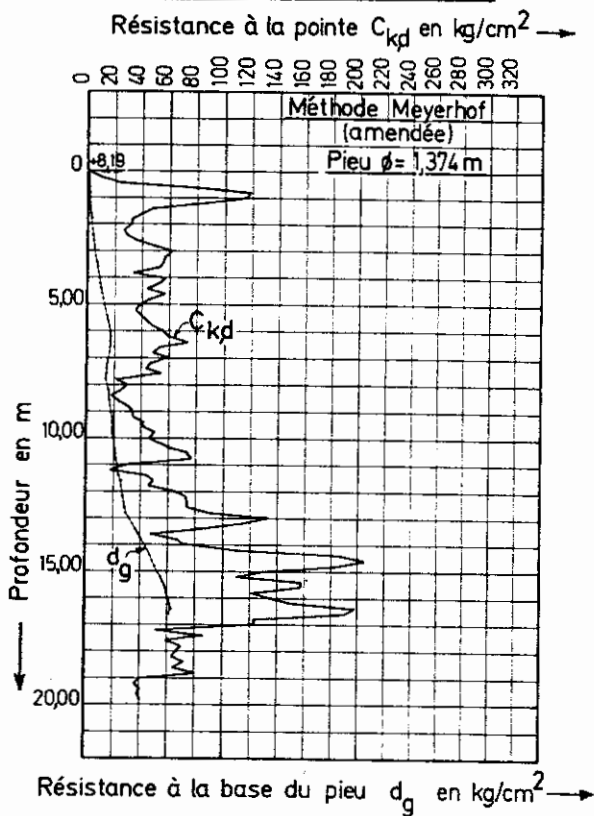


Fig. 32a.

### ESSAI DE PENETRATION V

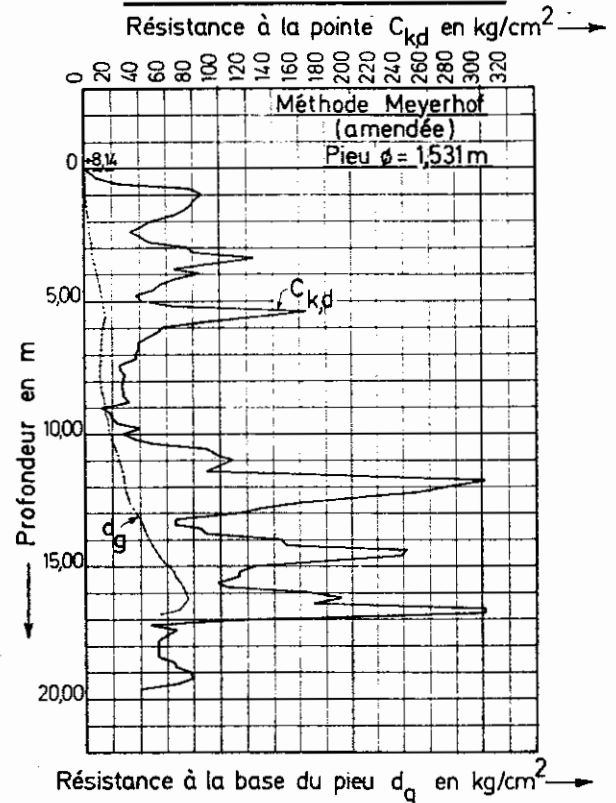


Fig. 32c.

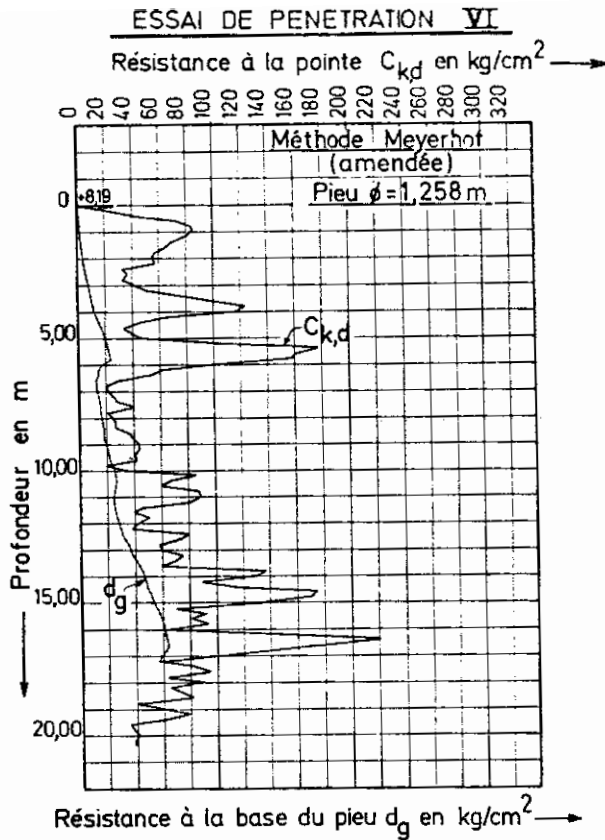


Fig. 32d.

$\alpha$ ) Calcul des valeurs dites homogènes  $d_g^{(1)}$

Nous renvoyons au tableau XIV.

On y trouve:

- 1<sup>ère</sup> colonne: les profondeurs  $h$  au-dessous de la surface du sol en m;
- 2<sup>e</sup> colonne: les valeurs  $C_{k,d}$  enregistrées;
- 3<sup>e</sup> colonne: les valeurs de  $p_b$  en  $\text{t/m}^2$ ;  
Ces valeurs ont été obtenues en tenant compte du fait que la nappe phréatique se trouve à 1 m de profondeur. Au-dessus de la nappe phréatique on a pris  $\gamma_d = 1,6 \text{ t/m}^3$ ; au-dessous de la nappe phréatique  $\gamma_n = 2 \text{ t/m}^3$ ; soit donc respectivement  $\gamma_k = 1,6 \text{ t/m}^3$  et  $\gamma_k = 1 \text{ t/m}^3$ ;
- 4<sup>e</sup> colonne: les valeurs de l'angle apparent  $\varphi'$  obtenues au moyen des formules (20 à 23) et du diagramme de la figure 13.
- 5<sup>e</sup> colonne: les valeurs du rapport  $\frac{h}{d}$ ;
- 6<sup>e</sup> colonne: les valeurs de l'angle  $\beta_c = F\left(\varphi', \frac{h}{d}\right)$

en radians, obtenues au moyen du diagramme de la figure 20;

- 7<sup>e</sup> colonne: les valeurs du rapport  $\frac{h}{D}$ ;
- 8<sup>e</sup> colonne: les valeurs de l'angle  $\beta_p = F\left(\varphi', \frac{h}{D}\right)$  en radians, obtenues au moyen du diagramme de la figure 20;
- 9<sup>e</sup> colonne: les valeurs de la capacité portante unitaire de rupture à la base  $d_g^{(1)}$ , par la formule (62). A partir de 6,20 m de profondeur on a  $\beta_p = \frac{\pi}{2}$ , de sorte que au-dessous de cette profondeur  $d_g^{(1)} = C_{k,d}$ .

Les valeurs  $d_g^{(1)}$  sont représentées à la figure 33-c par la courbe  $d_g^{(1)}$

$\beta$ ) Influence du gradient d'accroissement ou de décroissement

$\beta$ -1. Calcul des valeurs « descendantes »  $d_{g,j+1}$

A partir de la surface on calcule par la formule (120) vers le bas les valeurs de  $d_{g,j+1}$ :

$$d_{g,j+1} = d_{g,j} + \frac{a}{h_{crit}} \frac{d}{D} \left[ \frac{p_{b,j} + \frac{D}{d} \frac{\gamma_k h_{crit}}{2}}{p_{b,j} + \frac{\gamma_k h_{crit}}{2}} d_{g,h_{crit}}^{(1)} - d_{g,j} \right] \quad (120)$$

On a:  $D = 1,531 \text{ m}$ .

Au tableau VI on est donc dans le cas  $D \geq 0,60 \text{ m}$ .

Il se peut donc à priori que l'on doive considérer les 3 cas  $h_{crit} = 0,20, 0,40$  et  $0,60 \text{ m}$ . L'examen de la colonne 4 du tableau XIV indique que les valeurs de  $\varphi'$  n'atteignent nulle part la valeur de  $37^\circ 30'$ . Le cas  $h_{crit} = 0,60 \text{ m}$  n'est donc pas à prendre en considération.

Partout où trois valeurs consécutives sont inférieures à  $32^\circ 30'$  on ne devra considérer que le cas  $h_{crit} = a = 0,20 \text{ m}$ . On est alors ramené à la formule (75).

Lorsque dans trois valeurs consécutives de  $\varphi'$ , au moins une est au moins égale à  $32^\circ 30'$  il faudra successivement considérer  $h_{crit} = 0,20 \text{ m}$  et  $h_{crit} = 0,40 \text{ m}$  et retenir la plus petite des valeurs correspondantes de  $d_{g,j+1}$  ainsi trouvées.

TABLEAU XIV. — Essai de pénétration V à Zwijnaarde. Pieu de  $D_{\text{moyen},c} = 1,153$  m. Méthode R.I.G.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
profondeur $t$	$C_{k,d}$	$P_b$ ( $\gamma_k = 1,6 t/m^3$ resp. $1,0 t/m^3$ )	$\varphi, \varphi'$	$\frac{h}{d}$ $d = 0,036$ m	$\beta_c$ (voir fig. 20)	$\frac{h}{D}$	$\beta_P$ (voir fig. 20)	$d_g^{(1)}$ form. (62)	$d_{g,j+1}$ form. (120)	$d_{g,q+1}$ form. (81)	$d_g$ valeurs homogénéisées
m	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	degrés		radians		radians	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,20	4,33	0,32	29°30'	5,56	1,57	0,13	0,060	0,78	0,78	0,78	0,78
0,40	8,35	0,64	29°30'	11,11	1,57	0,26	0,110	1,60	1,32	1,32	1,60
0,60	23,38	0,96	33°	16,67	1,57	0,39	0,135	3,62	2,08	2,08	3,62
0,80	78,41	1,28	37°			0,52	0,142	9,11	3,52	3,52	6,68
1,00	86,44	1,60	36°30'			0,65	0,180	11,05	4,83	4,83	7,34
1,20	80,47	1,92	35°			0,78	0,23	12,32	5,60	5,60	7,92
1,40	78,49	2,12	35°			0,91	0,26	12,53	6,30	6,30	8,52
1,60	72,52	2,32	34°			1,04	0,31	12,25	6,95	6,95	9,15
1,80	64,55	2,52	33°			1,17	0,36	12,41	7,48	7,48	9,82
2,00	48,58	2,72	31°			1,31	0,42	12,19	7,97	7,97	10,50
2,20	40,61	2,92	29°30'			1,44	0,505	12,17	8,49	8,49	11,22
2,40	32,64	3,12	27°30'			1,57	0,595	11,83	8,95	8,95	11,99
2,60	40,66	3,32	29°			1,70	0,595	13,79	9,48	9,48	12,81
2,80	46,69	3,52	29°30'			1,83	0,615	15,98	10,09	10,09	13,66
3,00	74,72	3,72	31°30'			1,96	0,590	22,48	10,99	10,99	14,45
3,20	80,75	3,92	31°30'			2,09	0,620	25,20	11,97	11,97	15,13
3,40	124,77	4,12	33°30'			2,22	0,585	33,87	12,94	12,94	15,71
3,60	96,80	4,32	32°			2,35	0,665	31,24	13,62	13,62	16,16

3,80	64,83	4,52	30°		2,48	0,720	24,29	14,41	14,41	16,53
4,00	84,86	4,72	31°		2,61	0,720	30,56	15,44	15,44	16,80
4,20	64,88	4,92	29°30'		2,74	0,855	28,89	16,34	16,34	16,93
4,40	54,92	5,12	28°		2,87	0,975	29,17	17,21	17,17	16,94
4,60	48,94	5,32	26°30'		3,00	1,10	30,63	18,10	17,17	16,84
4,80	36,97	5,52	24°		3,14	1,35	30,39	18,94	17,15	16,70
5,00	41,00	5,72	24°30'		3,26	1,35	33,55	19,87	17,11	16,53
5,20	65,03	5,92	28°		3,40	1,11	39,87	21,07	17,04	16,33
5,40	165,06	6,12	33°		3,53	0,815	61,91	22,48	16,94	16,09
5,60	129,08	6,32	31°30'		3,65	0,97	61,87	23,67	16,81	15,82
5,80	85,11	6,52	29°30'		3,79	1,12	57,15	25,04	16,65	15,52
6,00	57,14	6,72	26°		3,92	1,425	49,60	26,35	16,45	15,21
6,20	53,17	6,92	25°		4,05	1,57	53,17	27,74	16,21	14,89
6,40	45,19	7,12	23°30'		4,18	1,57	45,19	28,78	15,93	14,57
6,60	39,22	7,32	22°30'		4,31	1,57	39,22	29,56	15,62	14,24
6,80	39,25	7,52	22°		4,44	1,57	39,25	30,30	15,28	13,90
7,00	37,28	7,72	21°30'		4,57	1,57	37,28	30,94	14,92	13,57
7,20	37,31	7,92	21°30'				37,31	31,56	14,53	13,24
7,40	25,34	8,12	17°30'				25,34	25,34	14,12	12,91
7,60	25,36	8,32	17°				25,36	25,36	13,85	12,66
7,80	29,39	8,52	18°30'				29,39	25,79	13,57	12,48
8,00	27,42	8,72	17°30'				27,42	26,14	13,27	12,39
8,20	27,45	8,92	17°30'				27,45	26,47	12,96	12,44
8,40	27,48	9,12	17°				27,48	26,79	12,63	12,60
8,60	27,50	9,32	17°				27,50	27,09	12,29	12,88
8,80	31,53	9,52	18°				31,53	27,52	11,93	13,34
9,00	17,56	9,72	7°				17,56	17,56	11,56	14,11

9,20	17,58	9,32	12°				17,58	11,88	11,88	15,23
9,40	19,62	10,12	12°30'				19,62	12,25	12,25	16,65
9,60	23,64	10,32	14°30'				23,64	12,74	12,74	18,31
9,80	39,67	10,52	18°30'				39,67	13,75	13,75	20,16
10,00	27,70	10,72	15°30'				27,70	14,33	14,33	22,53
10,20	35,73	10,92	18°				35,73	15,16	15,16	25,38
10,40	40,76	11,12	21°				40,76	16,42	16,42	28,62
10,60	89,78	11,32	25°30'				89,78	18,93	18,93	32,48
10,80	97,81	11,52	26°				97,81	21,62	21,62	36,63
11,00	109,84	11,72	27°				109,84	24,62	24,62	40,84
11,20	99,87	11,92	26°				99,87	27,22	27,22	44,71
11,40	89,89	12,12	25°				89,89	29,43	29,43	48,29
11,60	225,92	12,32	31°				225,92	35,03	35,03	51,67
11,80	301,95	12,52	32°30'				301,95	39,98	39,98	54,29
12,00	273,98	12,72	32°				273,98	44,37	44,37	56,40
12,20	250,00	12,82	31°30'				250,00	51,11	51,11	58,01
12,40	206,04	13,12	30°30'				206,04	56,30	56,30	58,84
12,60	158,06	13,32	28°30'				158,06	59,86	59,49	59,06
12,80	130,09	13,52	27°				130,09	62,46	59,48	58,89
13,00	114,12	13,72	26°				114,12	64,49	59,41	58,67
13,20	66,15	13,92	21°30'				66,15	65,00	59,29	58,38
13,40	66,18	14,12	21°30'				66,18	65,49	59,15	58,02
13,60	86,20	14,32	23°30'				86,20	66,57	59,00	57,59
13,80	90,23	14,52	23°30'				90,23	67,74	58,82	57,08
14,00	146,26	14,72	27°				146,26	70,56	58,61	56,49
14,20	150,29	14,92	27°30'				150,29	73,43	58,32	55,81
14,40	242,32	15,12	30°30'				242,32	78,98	57,96	55,06

14,60	238,34	15,32	30°30'			238,34	84,26	57,45	54,23
14,80	182,37	15,52	28°30'			182,37	87,72	56,80	53,33
15,00	126,40	15,72	25°30'			126,40	89,42	58,06	52,35
15,20	114,43	15,92	24°30'			114,43	90,71	55,26	51,30
15,40	114,47	16,12	24°30'			114,47	91,97	54,41	50,15
15,60	38,48	16,32	23°30'			38,48	92,72	53,50	48,90
15,80	106,51	16,52	24°			106,51	93,68	52,56	47,75
16,00	166,55	16,72	27°			166,55	96,37	51,57	46,68
16,20	190,57	16,92	28°			190,57	99,69	50,49	45,72
16,40	170,60	17,12	27°			170,60	102,34	49,30	44,86
16,60	>302,62	17,32	31°			>302,62	108,77	48,02	44,11
16,80	>302,65	17,52	31°			>302,65	115,03	46,56	43,49
17,00	122,68	17,72	24°30'			122,68	115,89	44,97	43,02
17,20	46,71	17,92	15°30'			46,71	46,71	43,20	42,70
17,40	66,74	18,12	19°			66,74	47,57	43,11	42,55
17,60	58,76	18,32	18°			58,76	48,15	43,00	42,39
17,80	52,79	18,52	17°			52,79	48,54	42,88	42,20
18,00	52,82	18,72	16°30'			52,82	48,92	42,75	42,00
18,20	52,84	18,92	16°30'			52,84	49,29	42,60	
18,40	52,88	19,12	16°30'			52,88	49,65	42,44	
18,60	64,90	19,32	18°30'			64,90	50,34	42,27	
18,80	66,93	19,52	18°30'			66,93	51,07	42,08	
19,00	76,96	19,72	19°30'			76,96	52,06	41,86	
19,20	78,99	19,92	20°			78,99	53,08	41,61	
19,40	67,02	20,12	18°			67,02	53,73	41,34	
19,60	47,04	20,32	13°			47,04	41,04	41,04	



La valeur ainsi obtenue n'est valable que lorsque  $d_{g,j-1} > d_{g,j}$ .

En outre si le  $d_{g,j+1}$  ainsi calculé est supérieur à  $d_{g,j+1}^{(1)}$ , on doit poser  $d_{g,j+1} = d_{g,j+1}^{(1)}$ .

Si  $h_{crit} = 0,20$  m

On a :

$$\frac{D}{d} h_{crit} = 42,5 \times 0,20 = 8,5 \text{ m,}$$

au-dessus de la nappe phréatique :

$$\frac{D}{d} \frac{\gamma_k h_{crit}}{2} = \frac{1,6 \times 8,5}{2} = 6,80 \text{ t/m}^2,$$

$$\frac{\gamma_k h_{crit}}{2} = \frac{1,6 \times 0,20}{2} = 0,16 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j+1} = d_{g,j} + \left[ \frac{p_{b,j} + 6,80}{p_{b,j} + 0,16} d_{g,j+1}^{(1)} - d_{g,j} \right] \frac{1}{42,5} \quad (123)$$

au-dessous de la nappe phréatique :

$$\frac{D}{d} \frac{\gamma_k h_{crit}}{2} = \frac{1,0 \times 8,5}{2} = 4,25 \text{ t/m}^2,$$

$$\frac{\gamma_k h_{crit}}{2} = \frac{1,0 \times 0,20}{2} = 0,10 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j+1} = d_{g,j} + \left[ \frac{p_{b,j} + 4,25}{p_{b,j} + 0,10} d_{g,j+1}^{(1)} - d_{g,j} \right] \frac{1}{42,5} \quad (124)$$

Si  $h_{crit} = 0,40$  m

On a :

$$\frac{D}{d} h_{crit} = 42,5 \times 0,40 = 17 \text{ m,}$$

au-dessus de la nappe phréatique :

$$\frac{D}{d} \frac{\gamma_k h_{crit}}{2} = \frac{1,6 \times 17}{2} = 13,60 \text{ t/m}^2,$$

$$\frac{\gamma_k h_{crit}}{2} = \frac{1,6 \times 0,40}{2} = 0,32 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j+1} = d_{g,j} + \frac{1}{2} \left[ \frac{p_{b,j} + 13,60}{p_{b,j} + 0,32} d_{g,j+1}^{(1)} - d_{g,j} \right] \frac{1}{42,5} \quad (125)$$

au-dessous de la nappe phréatique :

$$\frac{D}{d} \frac{\gamma_k h_{crit}}{2} = \frac{1,0 \times 17}{2} = 8,50 \text{ t/m}^2,$$

$$\frac{\gamma_k h_{crit}}{2} = \frac{1,0 \times 0,40}{2} = 0,20 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j+1} = d_{g,j} + \frac{1}{2} \left[ \frac{p_{b,j} + 8,50}{p_{b,j} + 0,20} d_{g,j+1}^{(1)} - d_{g,j} \right] \frac{1}{42,5} \quad (126)$$

Les valeurs de  $d_{g,j+1}^{(1)}$  se trouvent à la 9<sup>e</sup> colonne du tableau XIV. Les valeurs de  $p_{b,j}$  se trouvent à la 3<sup>e</sup> colonne, mais doivent se prendre à la profondeur immédiatement au-dessus de celle pour laquelle on fait le calcul. D'une façon analogue les valeurs de  $d_{g,j+2}^{(1)}$  se trouvent à la 9<sup>e</sup> colonne du tableau XIV, mais immédiatement au-dessous de la profondeur considérée.

Les valeurs de  $d_{g,j+1}$  s'inscrivent à la 10<sup>e</sup> colonne du tableau. La valeur de  $d_{g,j}$  se trouve donc dans cette colonne immédiatement au-dessus de la profondeur pour laquelle on calcule  $d_{g,j+1}$ .

Détaillons les calculs numériques :

Les 3 premières valeurs de  $\phi'$  sont inférieures à  $32^\circ 30'$ . Nous avons donc  $h_{crit} = 0,20$  m.

— A 0,20 m de profondeur on a :

$$p_{b,j} = 0, \quad d_{g,j} = 0,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 0,78 \text{ kg/cm}^2.$$

On est au-dessus de la nappe phréatique, d'où formule (123) :

$$d_{g,j+1} = 0 +$$

$$+ \left[ \frac{0 + 6,80}{0 + 0,16} 0,78 - 0 \right] \frac{1}{42,5} = 0,78 \text{ kg/cm}^2.$$

Cette valeur est inscrite dans la 10<sup>e</sup> colonne.

— A 0,40 m de profondeur, on a au moins une valeur de  $\phi'$  consécutive qui est au moins égale à  $32^\circ 30'$ . Nous devons donc considérer les 2 cas  $h_{crit} = 0,20$  m et  $h_{crit} = 0,40$  m.

On a :

$$p_{b,j} = 0,32 \text{ t/m}^2 \quad (p_b \text{ à } 0,20 \text{ m})$$

$$d_{g,j} = 0,78 \text{ kg/cm}^2 \quad (d_g \text{ à } 0,20 \text{ m})$$

1<sup>o</sup>)  $h_{crit} = 0,20$  m,

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 1,60 \text{ kg/cm}^2.$$

La formule (123) donne :

$$d_{g,j+1} = 0,78 +$$

$$\left( \frac{0,32 + 6,80}{0,32 + 0,16} 1,60 - 0,78 \right) \frac{1}{42,5} \\ = 1,32 \text{ kg/cm}^2.$$

$$2^{\circ}) h_{\text{crit}} = 0,40 \text{ m,}$$

$$d_{g,j+2}^{(1)} = 3,62 \text{ kg/cm}^2.$$

La formule (125) donne:

$$\begin{aligned} d_{g,j+1} &= 0,78 + \\ &+ \frac{1}{2} \left( \frac{0,32 + 13,60}{0,32 + 0,32} 3,62 - 0,78 \right) \frac{1}{42,5} \\ &= 1,69 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

La plus petite des 2 valeurs est 1,32 kg/cm<sup>2</sup>. Comme elle est d'autre part inférieure à  $d_{g,j+1}^{(1)} = 1,60 \text{ kg/cm}^2$  elle est retenue et inscrite à la colonne 10.

— A 0,60 m de profondeur:

Au moins une valeur consécutive de  $\varphi'$  est égale ou supérieure à 32°30', d'où en principe double calcul.

On a:

$$p_{b,j} = 0,64 \text{ t/m}^2 \quad (p_b \text{ à } 0,40 \text{ m})$$

$$d_{g,j} = 1,32 \text{ kg/cm}^2 \quad (d_g \text{ à } 0,40 \text{ m}).$$

$$1^{\circ}) h_{\text{crit}} = 0,20 \text{ m,}$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 3,62 \text{ kg/cm}^2.$$

formule (123),

$$\begin{aligned} d_{g,j+1} &= 1,32 + \\ &+ \left[ \frac{0,64 + 6,80}{0,64 + 0,16} 3,62 - 1,32 \right] \frac{1}{42,5} \\ &= 2,08 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

$$2^{\circ}) h_{\text{crit}} = 0,40 \text{ m,}$$

$$d_{g,j+2}^{(1)} = 9,11 \text{ kg/cm}^2,$$

formule (125),

$$\begin{aligned} d_{g,j+1} &= 1,32 + \\ &+ \left[ \frac{0,64 + 13,60}{0,64 + 0,32} 9,11 - 1,32 \right] \frac{1}{85} = 2,89 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

La plus petite des 2 valeurs est 2,08 kg/cm<sup>2</sup> qui est dès lors retenue.

— A 0,80 m de profondeur.

Au moins une valeur de  $\varphi'$  est non inférieure à 32°30', d'où 2 cas.

$$p_{b,j} = 0,96 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 2,08 \text{ kg/cm}^2,$$

$$1^{\circ}) h_{\text{crit}} = 0,20 \text{ m,}$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 9,11 \text{ kg/cm}^2,$$

formule (123),

$$\begin{aligned} d_{g,j+1} &= 2,08 + \\ &\left[ \frac{0,96 + 6,80}{0,96 + 0,16} 9,11 - 2,08 \right] \frac{1}{42,5} = \\ &= 3,52 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

$$2^{\circ}) h_{\text{crit}} = 0,40 \text{ m,}$$

$$d_{g,j+1}^{(2)} = 11,05 \text{ kg/cm}^2,$$

formule (125),

$$\begin{aligned} d_{g,j+1} &= 2,08 + \\ &+ \left[ \frac{0,96 + 13,60}{0,96 + 0,32} 11,05 - 2,08 \right] \frac{1}{85} \\ &= 3,53 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

La valeur à retenir est 3,52 kg/cm<sup>2</sup>.

— A 1,00 m de profondeur:

$\varphi' \geq 32^{\circ}30'$  d'où 2 calculs,

$$p_{b,j} = 1,28 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 3,52 \text{ kg/cm}^2.$$

$$1^{\circ}) h_{\text{crit}} = 0,20 \text{ m,}$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 11,05 \text{ kg/cm}^2,$$

formule (123),

$$\begin{aligned} d_{g,j+1} &= 3,52 + \\ &+ \left[ \frac{1,28 + 6,80}{1,28 - 0,16} 11,05 - 3,52 \right] \frac{1}{42,5} = \\ &= 4,89 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

$$2^{\circ}) h_{\text{crit}} = 0,40 \text{ m,}$$

$$d_{g,j+2}^{(1)} = 12,32 \text{ kg/cm}^2,$$

formule (125),

$$\begin{aligned} d_{g,j+1} &= 3,52 + \\ &+ \left[ \frac{1,28 + 13,60}{1,28 + 0,32} 12,32 - 3,52 \right] \frac{1}{85} = \\ &= 4,83 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

Il faut retenir la valeur 4,83 kg/cm<sup>2</sup>

— A 1,20 m de profondeur:

$\varphi' \geq 32^{\circ}30'$  d'où 2 calculs.

D'autre part on est au-dessous de la nappe, de sorte qu'il faut utiliser les formules (124) et (126).

$$p_{b,j} = 1,60 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 4,83 \text{ kg/cm}^2.$$

$$1^\circ) h_{\text{erit}} = 0,20 \text{ m},$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 12,32 \text{ kg/cm}^2,$$

formule (124),

$$d_{g,j+1} = 4,83 +$$

$$+ \left[ \frac{1,60 + 4,25}{1,60 + 0,10} 12,32 - 4,83 \right] \frac{1}{42,5} =$$

$$= 5,72 \text{ kg/cm}^2.$$

$$2^\circ) h_{\text{erit}} = 0,40 \text{ m},$$

$$d_{g,j+2}^{(1)} = 12,53 \text{ kg/cm}^2,$$

formule (126),

$$d_{g,j+1} = 4,83 +$$

$$+ \left[ \frac{1,60 + 8,50}{1,60 + 0,20} 12,53 - 4,83 \right] \frac{1}{85} =$$

$$= 5,60 \text{ kg/cm}^2.$$

On retient 5,60 kg/cm<sup>2</sup>.

— A 1,40 m de profondeur:

$\varphi' \geq 32^\circ 30'$  d'où en principe 2 calculs.

$$p_{b,j} = 1,92 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 5,60 \text{ kg/cm}^2.$$

$$1^\circ) h_{\text{erit}} = 0,20 \text{ m},$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 12,53 \text{ kg/cm}^2,$$

formule (124),

$$d_{g,j+1} = 5,60 +$$

$$+ \left[ \frac{1,92 + 4,25}{1,92 + 0,10} 12,53 - 5,60 \right] \frac{1}{42,5} =$$

$$= 6,37 \text{ kg/cm}^2.$$

$$2^\circ) h_{\text{erit}} = 0,40 \text{ m},$$

$$d_{g,j+2}^{(1)} = 13,25 \text{ kg/cm}^2,$$

formule (126),

$$d_{g,j+1} = 5,60 +$$

$$+ \left[ \frac{1,92 + 8,50}{1,92 + 0,20} 13,25 - 5,60 \right] \frac{1}{85} =$$

$$= 6,30 \text{ kg/cm}^2,$$

On retient 6,30 kg/cm<sup>2</sup>.

On continue d'une façon analogue jusque 2,00 m de profondeur.

— A 2,00 m de profondeur:

Parmi les 3 valeurs de  $\varphi'$  qui encadrent la profondeur considérée, au moins une n'est pas inférieure à  $32^\circ 30'$ .

Il faut donc considérer les 2 cas:

$$p_{b,j} = 2,52 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 7,48 \text{ kg/cm}^2.$$

$$1^\circ) h_{\text{erit}} = 0,20 \text{ m},$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 12,19 \text{ kg/cm}^2,$$

formule (124),

$$d_{g,j+1} = 7,48 +$$

$$+ \left[ \frac{2,52 + 4,25}{2,52 + 0,10} 12,19 - 7,48 \right] \frac{1}{42,5} =$$

$$= 8,05 \text{ kg/cm}^2.$$

$$2^\circ) h_{\text{erit}} = 0,40 \text{ m},$$

$$d_{g,j+2}^{(1)} = 12,17 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 7,48 +$$

$$\left[ \frac{2,52 + 8,50}{2,52 + 0,20} 12,17 - 7,48 \right] \frac{1}{85} = 7,97 \text{ kg/cm}^2.$$

On retient 7,97 kg/cm<sup>2</sup>.

— A 2,20 m de profondeur:

Les 3 valeurs de  $\varphi'$  encadrant la profondeur considérée sont toutes inférieures à  $32^\circ 30'$ . Un seul calcul suffit.

$$p_{b,j} = 2,72 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 7,97 \text{ kg/cm}^2$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 12,17 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 7,97 \text{ kg/cm}^2 +$$

$$+ \left[ \frac{2,72 + 4,25}{2,72 + 0,10} 12,17 - 7,97 \right] \frac{1}{42,5}$$

$$= 8,49 \text{ kg/cm}^2.$$

On effectue des calculs analogues jusque 3,20 m de profondeur.

— A 3,20 m de profondeur:

Au moins une valeur de  $\varphi'$  n'est pas inférieure à  $32^\circ 30'$ . Il faut donc effectuer 2 calculs.

$$p_{b,j} = 3,72 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 10,99 \text{ kg/cm}^2.$$

$$1^{\circ}) h_{\text{crit}} = 0,20 \text{ m,}$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 25,20 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 10,99$$

$$+ \left[ \frac{3,72 + 4,25}{3,72 + 0,10} 25,20 - 10,99 \right] \frac{1}{42,5} =$$

$$= 11,97 \text{ kg/cm}^2.$$

$$2^{\circ}) h_{\text{crit}} = 0,40 \text{ m,}$$

$$d_{g,j+2}^{(1)} = 33,87 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 10,99 +$$

$$+ \left[ \frac{3,72 + 8,50}{3,72 + 0,20} 33,87 - 10,99 \right] \frac{1}{85} =$$

$$= 12,10 \text{ kg/cm}^2$$

On retient  $d_{g,j+1} = 11,97 \text{ kg/cm}^2$ .

— A 3,40 m de profondeur.

Au moins une valeur de  $\varphi' \geq 32^{\circ}30'$ , d'où 2 calculs.

$$p_{b,j} = 3,92 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 11,97 \text{ kg/cm}^2.$$

$$1^{\circ}) h_{\text{crit}} = 0,20 \text{ m,}$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 33,87 \text{ kg/cm}^2.$$

$$d_{g,j+1} = 11,97 +$$

$$+ \left[ \frac{3,92 + 4,25}{3,92 + 0,10} 33,87 - 11,97 \right] \frac{1}{42,5} =$$

$$= 13,31 \text{ kg/cm}^2.$$

$$2^{\circ}) h_{\text{crit}} = 0,40 \text{ m,}$$

$$d_{g,j+2}^{(1)} = 31,24 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 11,97 +$$

$$+ \left[ \frac{3,92 + 8,50}{3,92 + 0,20} 31,24 - 11,97 \right] \frac{1}{85} =$$

$$= 12,94 \text{ kg/cm}^2.$$

On retient  $d_{g,j+1} = 12,94 \text{ kg/cm}^2$ .

— A 3,60 m de profondeur:

Une des 3 valeurs encadrant la profondeur considérée n'est pas inférieure à  $32^{\circ}30'$ , d'où la nécessité de 2 calculs.

$$p_{b,j} = 4,12 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 12,94 \text{ kg/cm}^2.$$

$$1^{\circ}) h_{\text{crit}} = 0,20 \text{ m,}$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 31,24 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 12,94 +$$

$$+ \left[ \frac{4,12 + 4,25}{4,12 + 0,10} 31,24 - 12,94 \right] \frac{1}{42,5} =$$

$$= 14,09 \text{ kg/cm}^2.$$

$$2^{\circ}) h_{\text{crit}} = 0,40 \text{ m,}$$

$$d_{g,j+2}^{(1)} = 24,29 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 12,94 +$$

$$+ \left[ \frac{4,12 + 8,50}{4,12 + 0,20} 24,29 - 12,94 \right] \frac{1}{85} =$$

$$13,62 \text{ kg/cm}^2.$$

On retient  $13,62 \text{ kg/cm}^2$ .

— A 3,80 m de profondeur:

Les 3 valeurs de  $\varphi'$  encadrant la profondeur considérée sont inférieures à  $32^{\circ}30'$  d'où un seul calcul.

$$p_{b,j} = 4,32 \text{ t/m}^2.$$

$$d_{g,j} = 13,62 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 24,29 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 13,62 +$$

$$+ \left[ \frac{4,32 + 4,25}{4,32 + 0,10} 24,29 - 13,62 \right] \frac{1}{42,5} =$$

$$= 14,41 \text{ kg/cm}^2.$$

On continue d'une façon analogue jusque 5,00 m de profondeur.

— A 5,00 m de profondeur.

Les 3 valeurs encadrant la profondeur considérée sont inférieures à  $32^{\circ}30'$ , d'où un seul calcul.

$$p_{b,j} = 5,52 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 18,94 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 33,55 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 18,94 +$$

$$+ \left[ \frac{5,52 + 4,25}{5,52 + 4,25} 33,55 - 18,94 \right] \frac{1}{42,5} =$$

$$= 19,87 \text{ kg/cm}^2.$$

— A 5,20 m de profondeur:

On a au moins une valeur de  $\varphi' \geq 32^{\circ}30'$ , d'où 2 calculs.

$$p_{b,j} = 5,72 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 19,87 \text{ kg/cm}^2.$$

$$1^\circ) h_{\text{crit}} = 0,20 \text{ m},$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 39,87 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 19,87 +$$

$$\left[ \frac{5,72 + 4,25}{5,72 + 0,10} 39,87 - 19,87 \right] \frac{1}{42,5} = 21,01 \text{ kg/cm}^2.$$

$$2^\circ) h_{\text{crit}} = 0,40 \text{ m},$$

$$d_{g,j+2}^{(1)} = 61,91 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 19,87 +$$

$$+ \left[ \frac{5,72 + 8,50}{5,72 + 0,20} 61,91 - 19,87 \right] \frac{1}{85} =$$

$$= 21,39 \text{ kg/cm}^2.$$

On retient 21,01 kg/cm<sup>2</sup>.

Un double calcul doit être effectué aux profondeurs de 5,40 m et de 5,60 m. A partir de 5,80 m un seul calcul suffit.

— A 7,20 m de profondeur:

$$p_{b,j} = 7,72 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 30,94 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 37,31 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 30,94 +$$

$$+ \left[ \frac{7,72 + 4,25}{7,72 + 0,10} 37,31 - 30,94 \right] \frac{1}{42,5} =$$

$$= 31,56 \text{ kg/cm}^2.$$

— A 7,40 m de profondeur:

$$p_{b,j} = 7,92 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 31,56 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 25,34 \text{ kg/cm}^2.$$

Comme  $d_{g,j+1}^{(1)} = 25,34 \text{ kg/cm}^2 < d_{g,j} = 31,56 \text{ kg/cm}^2$ , on aura à fortiori:

$$d_{g,j+1}^{(1)} < d_{g,j+1}.$$

d'où:

$$d_{g,j+1} = d_{g,j+1}^{(1)} = 25,34 \text{ kg/cm}^2.$$

— A 7,60 m de profondeur:

$$p_{b,j} = 8,12 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 25,34 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 25,36 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 25,34 +$$

$$+ \left[ \frac{8,12 + 4,25}{8,12 + 0,10} 25,36 - 25,34 \right] \frac{1}{42,5} =$$

$$= 25,64 \text{ kg/cm}^2.$$

On a:

$$d_{j+1} = 25,64 \text{ kg/cm}^2 > d_{g,j+1}^{(1)} = 25,36 \text{ kg/cm}^2.$$

Dès lors on adopte:

$$d_{g,j+1} = d_{g,j+1}^{(1)} = 25,36 \text{ kg/cm}^2.$$

— A 7,80 m de profondeur:

$$p_{b,j} = 8,32 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 25,36 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 29,39 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 25,36 +$$

$$+ \left[ \frac{8,32 + 4,25}{8,42} 29,39 - 25,36 \right] \frac{1}{42,5} =$$

$$= 25,79 \text{ kg/cm}^2.$$

On adopte 25,79 kg/cm<sup>2</sup>.

On effectue des calculs analogues jusque 11,40 m de profondeur.

— A 11,40 m de profondeur:

A cette profondeur les 3 valeurs de  $\varphi'$  à considérer sont toutes inférieures à 32°30'. Un calcul suffit.

On a:

$$p_{b,j} = 11,92 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 27,22 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 89,89 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 27,22 +$$

$$+ \left[ \frac{11,92 + 4,25}{12,02} 89,89 - 27,22 \right] \frac{1}{42,5} +$$

$$= 29,43 \text{ kg/cm}^2.$$

— A 11,60 m de profondeur:

Au moins une valeur de  $\varphi'$  atteint la valeur de 32°30'.

Un double calcul s'impose.

$$p_{b,j} = 12,12 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 29,43 \text{ kg/cm}^2.$$

$$1^\circ) h_{\text{crit}} = 0,20 \text{ m},$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 225,92 \text{ kg/cm}^2.$$

$$d_{g,j+1} = 29,43 + \left[ \frac{12,12 + 4,25}{12,22} 225,92 - 29,43 \right] \frac{1}{42,5} = 35,86 \text{ kg/cm}^2.$$

2°)  $h_{\text{crit}} = 0,40 \text{ m}$ ,

$$d_{g,j+2}^{(1)} = 301,95 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 29,43 + \left[ \frac{12,12 + 8,50}{12,12 + 0,20} 301,95 - 29,43 \right] \frac{1}{85} = 35,03 \text{ kg/cm}^2.$$

On retient la valeur  $35,03 \text{ kg/cm}^2$ .

Un double calcul doit encore être effectué aux profondeurs de 11,80 m et de 12,00 m. A partir de 12,20 m un calcul unique suffit.

— A 17,00 m de profondeur:

$$p_{b,j} = 17,52 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 115,03 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 122,68 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 115,03 +$$

$$+ \left[ \frac{17,52 + 4,25}{17,62} 122,68 - 115,03 \right] \frac{1}{42,5} = 115,89 \text{ kg/cm}^2.$$

— A 17,20 m de profondeur:

$$p_{b,j} = 17,72 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 115,89 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 46,71 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} < d_{g,j},$$

donc:

$$d_{g,j+1} = d_{g,j+1}^{(1)} = 46,71 \text{ kg/cm}^2.$$

— A 17,40 m de profondeur:

$$p_{b,j} = 17,92 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 46,71 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 66,74 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 46,71 +$$

$$+ \left[ \frac{17,92 + 4,25}{18,02} 66,74 - 46,71 \right] \frac{1}{42,5} = 47,57 \text{ kg/cm}^2.$$

On continue d'une façon analogue jusqu'à la lecture finale de l'essai de pénétration à 19,60 m de profondeur.

— A 19,60 m de profondeur:

$$p_{b,j} = 20,12 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 53,73 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 41,04 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 41,04 \text{ kg/cm}^2 < d_{g,j} = 53,73 \text{ kg/cm}^2.$$

donc:

$$d_{g,j+1} = d_{g,j+1}^{(1)} = 41,04 \text{ kg/cm}^2.$$

Toutes les valeurs ainsi calculées pour  $d_{g,j+1}$  sont renseignées à la 10<sup>e</sup> colonne du tableau XIV.

β-2. Valeurs « montantes »  $d_{g,q+1}$ .

A 19,60 m de profondeur on a  $d_{g,j+1} = d_{g,j+1}^{(1)} = 41,04 \text{ kg/cm}^2$ . A partir de cette inclusion moins résistante on procède vers le haut, en utilisant la formule (81).

— A 19,60 m de profondeur:

$d_g = 41,04 \text{ kg/cm}^2$ . Cette valeur est inscrite dans la 11<sup>e</sup> colonne du tableau XIV.

— A 19,40 m:

$d_{g,q} = 41,04 \text{ kg/cm}^2 =$  valeur se lisant dans la 11<sup>e</sup> colonne immédiatement au-dessous du niveau considéré,

$d_{g,j+1} = 53,73 \text{ kg/cm}^2 =$  valeur se lisant dans la 10<sup>e</sup> colonne du tableau XIV à la profondeur considérée.

$$d_{g,q+1} = 41,04 + \frac{53,73 - 41,04}{42,5} = 41,34 \text{ kg/cm}^2.$$

— A 19,20 m:

$$d_{g,q} = 41,34 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 53,08 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,q+1} = 41,34 + \frac{53,08 - 41,34}{42,5} = 41,61 \text{ kg/cm}^2.$$

On procède d'une façon analogue vers le haut jusque 12,60 m de profondeur.

— A 12,60 m:

$$d_{g,q} = 59,48 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,q+1} = 59,86 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,q+1} = 59,48 + \frac{59,86 - 59,48}{42,5} = 59,49 \text{ kg/cm}^2.$$

— A 12,40 m:

$$d_{g,j+1} = 56,30 \text{ kg/cm}^2 < d_{g,q} = 59,49 \text{ kg/cm}^2,$$

on a donc:

$$d_{g,q+1} = d_{g,j+1} = 56,30 \text{ kg/cm}^2$$

— A 12,20 m:

$$d_{g,j+1} = 51,11 \text{ kg/cm}^2 < d_{g,q} = 56,30 \text{ kg/cm}^2,$$

d'où:

$$d_{g,q+1} = d_{g,j+1} = 51,11 \text{ kg/cm}^2.$$

On est dans des situations analogues jusque 9,00 m de profondeur.

— A 9,00 m:

$$d_{g,j+1} = 11,56 \text{ kg/cm}^2 < d_{g,q} = 11,88 \text{ kg/cm}^2,$$

d'où:

$$d_{g,q+1} = d_{g,j+1} = 11,56 \text{ kg/cm}^2.$$

— A 8,80 m:

$$d_{g,q} = 11,56 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 27,52 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,q+1} = 11,56 + \frac{27,52 - 11,56}{42,5} = 11,93 \text{ kg/cm}^2.$$

On procède d'une façon analogue jusque 4,40 m de profondeur.

— A 4,40 m:

$$d_{g,q} = 17,17 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 17,21 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,q+1} = 17,17 + \frac{17,21 - 17,17}{42,5} = 17,17 \text{ kg/cm}^2.$$

— A 4,20 m:

$$d_{g,j+1} = 16,34 \text{ kg/cm}^2 < d_{g,q} = 17,17 \text{ kg/cm}^2,$$

d'où:

$$d_{g,q+1} = d_{g,j+1} = 16,34 \text{ kg/cm}^2.$$

On est ensuite dans des situations analogues jusqu'à la surface, et donc  $d_{g,q+1} = d_{g,j+1}$ .

Toutes les valeurs ainsi calculées sont renseignées à la 11<sup>e</sup> colonne du tableau XIV.

*γ) Homogénéisation (Blending or Mixing).*

*Profondeur 0:*

A ce niveau on a  $d_g^{(1)} = 0$ .

Comme on constate immédiatement que la moyenne des valeurs  $d_{g,q+1}$  sur une épaisseur égale au diamètre, sera supérieure à  $d_g^{(1)}$ , et puisqu'on est

convenu de ne pas retenir une valeur homogénéisée qui serait supérieure à  $d_g^{(1)}$ , du moins aux profondeurs où  $d_g^{(1)} < C_{k,d}$ , on a immédiatement  $d_g = 0$ .

*Profondeur 0,20 m:*

On a  $d_g^{(1)} = 0,78 \text{ kg/cm}^2$ .

Pour calculer la moyenne  $d_{g,q+1}$  sur  $l D = 1,531 \text{ m}$ , nous envisageons 9 lectures. Toutes les lectures de la 11<sup>e</sup> colonne étant supérieures à  $0,78 \text{ kg/cm}^2$ , il est inutile de faire le calcul de la moyenne. On a donc  $d_g = 0,78 \text{ kg/cm}^2$ .

Cette valeur est inscrite à la 12<sup>e</sup> colonne du tableau XIV.

*Profondeur 0,40 m:*

On a  $d_g^{(1)} = 1,60 \text{ kg/cm}^2$ .

Les chiffres de la 11<sup>e</sup> colonne montrent immédiatement que la moyenne sera supérieure. On a donc  $d_g = 1,60 \text{ kg/cm}^2$ .

*Profondeur 0,60 m:*

On a  $d_g^{(1)} = 3,62 \text{ kg/cm}^2$ .

La moyenne sera supérieure, donc  $d_g = 3,62 \text{ kg/cm}^2$ .

*Profondeur 0,80 m:*

On a  $d_g^{(1)} = 9,11 \text{ kg/cm}^2$ .

La moyenne des 9 lectures  $d_{g,q+1}$  de la colonne 11 donne:

$$(3,52 + 4,83 + 5,60 + 6,30 + 6,95 + 7,48 + 7,97 + 8,49 + 8,95) : 9 = 6,68 \text{ kg/cm}^2.$$

Cette valeur étant inférieure à  $d_g^{(1)} = 9,11 \text{ kg/cm}^2$ , c'est la valeur de  $6,68 \text{ kg/cm}^2$  qui est retenue et inscrite à la 12<sup>e</sup> colonne du tableau XIV.

*Profondeur 1,00 m:*

$d_g^{(1)} = 11,05 \text{ kg/cm}^2$ ,

$$(4,83 + 5,60 + 6,30 + 6,95 + 7,48 + 7,97 + 8,49 + 8,95 + 9,48) : 9 = 7,34 \text{ kg/cm}^2.$$

On procède d'une façon analogue à toutes les profondeurs.

A titre d'exemple considérons la profondeur de 7,60 m.

On a :

$$(13,85 + 13,57 + 13,27 + 12,96 + 12,63 + \\ - 12,29 + 11,93 + 11,56 + 11,88) : 9 = \\ d_g = 12,66 \text{ kg/cm}^2.$$

Puisque l'homogénéisation exige la connaissance des valeurs de  $C_{k,d}$  sur une épaisseur égale au diamètre, le calcul de la valeur homogénéisée sera arrêtée à une profondeur située à un diamètre au-dessus de la cote terminale de l'essai de pénétration.

Dans le cas considéré d'une base  $D = 1,531 \text{ m}$ , et d'un essai poussé jusque  $19,60 \text{ m}$  de profondeur, le calcul sera bloqué à  $18,00 \text{ m}$  de profondeur.

A cette profondeur on a :

$$(42,75 + 42,60 + 42,44 + 42,27 + 42,08 + \\ 41,86 + 41,61 + 41,34 + 41,04) : 9 = \\ = 42,00 \text{ kg/cm}^2.$$

Toutes les valeurs ainsi obtenues sont inscrites à la 12<sup>e</sup> colonne du tableau XIV.

Considérons un pieu  $D = 1,531 \text{ m}$  ayant sa base centrée maximum à la profondeur de  $7,66 \text{ m}$ . A la 12<sup>e</sup> colonne du tableau XIV on trouve :

$$\begin{aligned} \text{à } 7,60 \text{ m de profondeur: } d_g &= 12,66 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{à } 7,80 \text{ m de profondeur: } d_g &= 12,48 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$0,18 \text{ kg/cm}^2$$

A  $7,66 \text{ m}$  de profondeur :

$$d_g = 12,66 - 0,18 \frac{6}{20} = 12,61 \text{ kg/cm}^2.$$

La capacité portante limite par résistance à la base  $B_g$  pour le pieu considéré devient :

$$\begin{aligned} B_g &= \frac{\pi D^2}{4} \cdot d_g = \frac{\pi \times 1,531^2}{4} \times 12,61 = \\ &= 1,8409 \times 126,1 = 232,14 \text{ tonnes.} \end{aligned}$$

Des calculs analogues ont été effectués pour les autres essais de Zwijnaarde, et les résultats en sont consignés aux colonnes R.I.G. du tableau XIV.

Les valeurs de  $d_g$  obtenues par la méthode R.I.G. sont données en fonction de la profondeur par les courbes  $d_g$  des figures 33.

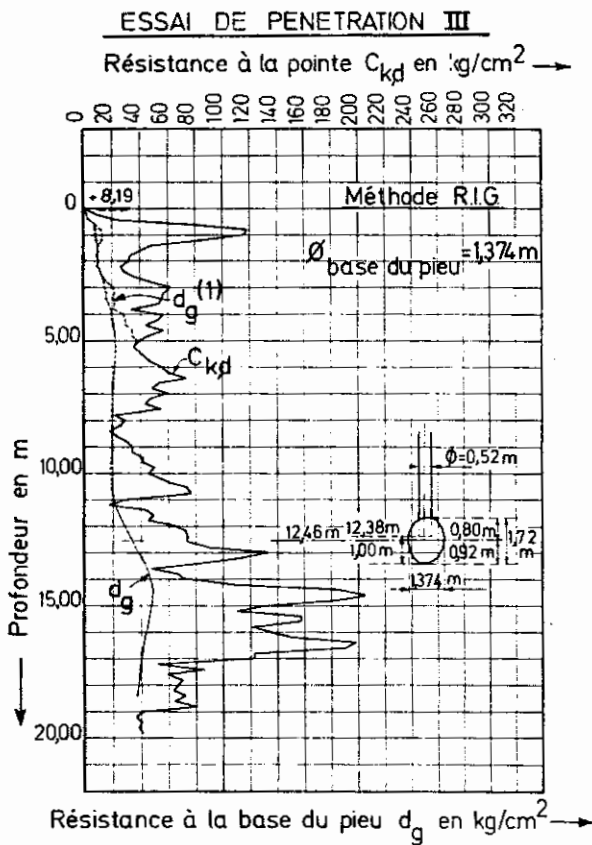


Fig. 33a.

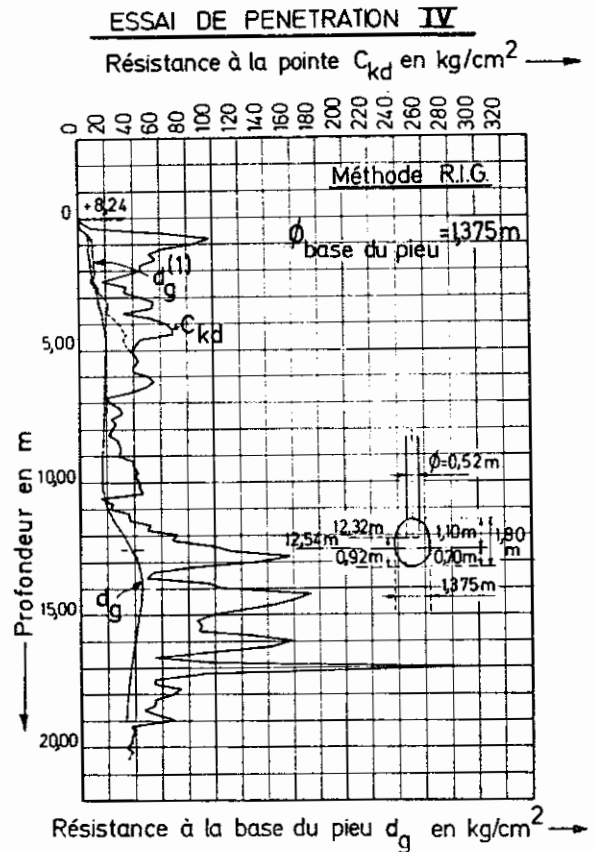


Fig. 33b.



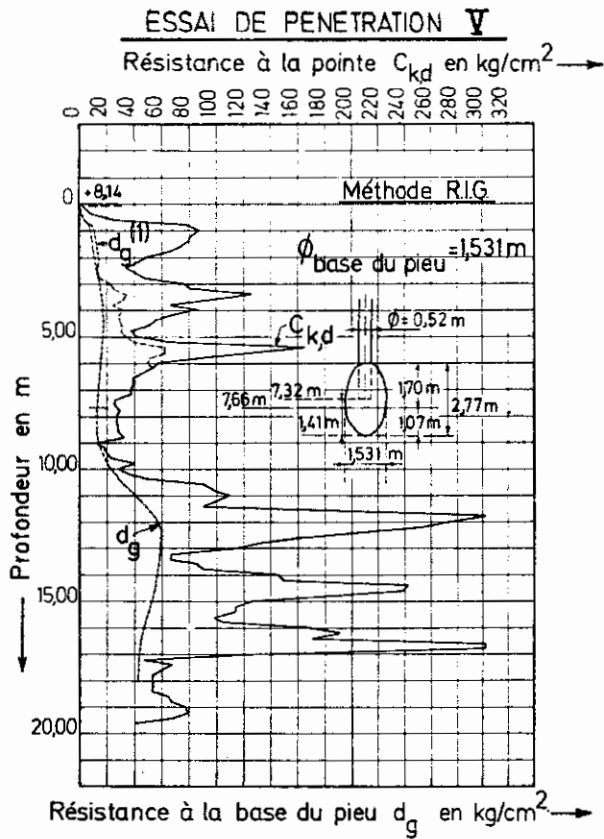


Fig. 33c.

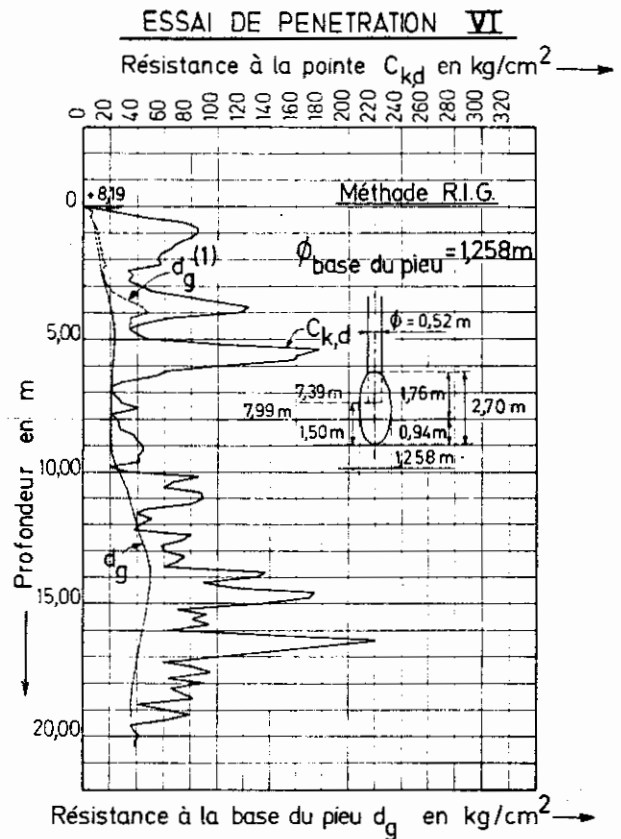


Fig. 33d.

4. Comparaison des valeurs expérimentales et des valeurs calculées des capacités portantes de rupture pour les pieux d'essais de Zwijnaarde.

Au tableau XII on trouve immédiatement au niveau de la base des pieux d'essais les valeurs de  $d_g$  déduites

des résultats des essais de pénétration correspondants par chacune des 3 méthodes décrites.

Au tableau XV on a rassemblé les valeurs ainsi calculées de  $d_g$ , d'où l'on déduit immédiatement les valeurs des capacités portantes limites  $B_g$  par résistance

TABLEAU XV.

1	2	3	4	5		6		7		8		11
				méthode L.G.M		méthode MEYERHOF amendée		méthode R.I.G				
$n^{\circ}$ du pieu c <sup>t</sup> de l'essai	profondeur de la base	diamètre de la section max. centrée	surface de la base centrée	$d_g$	$B_g$	$d_g$	$B_g$	$d_g$	$B_g$	$d_g$	$B_g$	valeurs expérimentales
	m	m	m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	t	kg/cm <sup>2</sup>	t	kg/cm <sup>2</sup>	t	kg/cm <sup>2</sup>	t	t
III	12,46	1,374	1,483	44,01	652,7	22,95	414,4	32,30	488,0	550	600	550 à 600
IV	12,54	1,375	1,485	46,23	687,4	22,82	412,2	38,38	510,0	550	600	550 à 600
V	3,66	1,531	1,841	12,46	228,4	11,13	206,0	16,61	232,0	234,5		234,5
VI	7,99	1,258	1,243	20,96	260,5	11,82	203,1	20,59	256,0	300		300

à la base. A la colonne II du tableau XV sont renseignées les valeurs expérimentales obtenues par les essais de charge.

On constate que la méthode de Meyerhof amendée fournit les plus petites valeurs des 3 méthodes; la méthode L.G.M. fournit d'autre part généralement les valeurs les plus grandes, tandis que la méthode R.I.G. fournit des valeurs intermédiaires.

Pour les pieux III et IV la méthode L.G.M. a tendance à surestimer les valeurs de la capacité portante limite par résistance à la base.

La méthode R.I.G. tout en restant en deça des capacités portantes mesurées, donne des valeurs qui se rapprochent suffisamment des valeurs réelles, pour encore être économiquement acceptables.

#### 5. Calcul des valeurs de $d_g$ pour des pieux $\varnothing = 0,52$ m à Zwijnaarde

Dans les calculs précédents on a déterminé les valeurs de  $d_g$  pour les pieux à base surélargie réalisés

à Zwijnaarde. Ces pieux ont été fabriqués en utilisant un fourreau  $\varnothing = 0,52$  m. Il peut être intéressant de calculer aussi les valeurs de  $d_g$  pour des pieux sans élargissement et dont le diamètre de la base vaudrait 0,52 m.

Les valeurs de  $d_g$  obtenues par les 3 méthodes au droit des 4 essais, sont renseignées au tableau XVI.

Les valeurs  $d_g$  obtenues par les méthodes L.G.M., Meyerhof amendée et R.I.G. sont respectivement représentées en fonction de la profondeur, aux figures 34, 35 et 36.

Sur les mêmes figures on a dessiné les énergies de battage dépensées par unité d'enfoncement lors du fonçage des fourreaux (tm/cm).

L'examen des chiffres du tableau XVI et des diagrammes correspondants des figures 34, 35 et 36 permet de se rendre compte des divergences et des correspondances entre les valeurs de  $d_g$  obtenues par les 3 méthodes décrites.

#### SAMENVATTING :

## METHODEN OM HET GRENSDRAAGVERMOGEN VAN EEN GEHEIDE PAAL UIT DE RESULTATEN VAN DIEPSONDERINGEN AF TE LEIDEN

(1<sup>e</sup> deel)

### I. INLEIDING

*De bijdrage heeft ten doel de methoden, welke door verschillende auteurs worden voorgesteld, om het grensdraagvermogen van een geheide paal van de konusweerstand af te leiden, kritisch te onderzoeken en een nieuwe methode voor te stellen waarmede bepaalde anomalieën kunnen worden vermeden.*

*Daar slechts incidenteel over de mantelwrijving wordt gehandeld blijft de bijdrage beperkt tot geheide palen, waarvan het grensdraagvermogen hoofdzakelijk door de weerstand aan de basis wordt geleverd.*

### II. METHODE VAN HET LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT

*Uit een ver doorgedreven statistische studie van de correlatie tussen de konusweerstanddiagrammen en talrijke proefbelastingen op palen, werd door het L.G.M. te Delft een methode uitgewerkt, waarvan de principes in een artikel van Begemann [5] zijn gegeven.*

*Het eenheidsgrensdraagvermogen aan de basis van een paal, aangeduid door  $d_g$ , wordt verkregen als het gemiddelde van twee waarden  $d_{g,i}$  en  $d_{g,s}$  (formule 1),*

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

ANNALES  
DES  
TRAVAUX  
PUBLICS  
DE BELGIQUE



TIJDSCHRIFT  
DER  
OPENBARE  
WERKEN  
VAN BELGIË

D.R.

# METHODES DE DEDUCTION DE LA CAPACITE PORTANTE D'UN PIEU A PARTIR DES RESULTATS DES ESSAIS DE PENETRATION

(1<sup>re</sup> suite)\*

par

**Prof. Dr. ir E. DE BEER**

Professeur ordinaire à la R.U.G. et à la K.U.L.  
Directeur Général de l'Institut Géotechnique de l'Etat

## VI. APPLICATION DE LA METHODE R.I.G. AU CAS DES ESSAIS DE L'I.R.A.B.A. AVEC DES SABLES DE MOYENNE ET FAIBLE COMPACTITE

### a-1. Généralités

Lors de l'établissement de la méthode R.I.G., nous avons essentiellement utilisé les résultats de l'I.R.A.B.A. obtenus avec un sable de forte compacité.

Kérisel [3] décrit toutefois aussi des essais effectués avec du sable de moyenne et de faible compacité.

Pour le sable de moyenne compacité Kérisel renseigne un poids volumique  $\gamma_d = 1,68 \text{ t/m}^3$  et un angle de frottement  $\varphi = 38^\circ$ .

Pour le sable de faible compacité il renseigne les valeurs  $\gamma_d = 1,58 \text{ t/m}^3$  et  $\varphi = 35^\circ$ .

### a-2. Sable de compacité moyenne

La figure 37a donne en fonction de la profondeur la variation de la résistance mesurée avec un cône  $\varnothing 45 \text{ mm}$ .

Aux figures 37b et 37c les courbes EE donnent les valeurs expérimentales obtenues respectivement avec un pieu  $\varnothing 110 \text{ mm}$  et un pieu  $\varnothing 216 \text{ mm}$ .

Les détails des calculs de  $d_g$  par la méthode R.I.G. sont donnés au tableau XVII.

A la 3<sup>e</sup> colonne du tableau sont renseignées les valeurs  $\varphi'$  déduites de l'essai. Les valeurs obtenues varient entre  $40^\circ$  et  $29^\circ 45'$ . Il faut remarquer qu'il s'agit de valeurs situées du côté de la sécurité, et d'autant plus inférieures aux valeurs exactes que le phénomène de densification devient prépondérant.

Malgré le fait que l'angle  $\varphi'$  calculé est généralement égal ou supérieur à  $32^\circ 30'$ , on peut toutefois se contenter avec un seul calcul correspondant à l'entre-distance  $a = 0,20 \text{ m}$  puisque le diamètre des pieux d'essai est inférieur à  $0,40 \text{ m}$ .

Les valeurs calculées de  $d_g$  sont représentées aux figures 37b et 37c par les courbes MNP.

On constate que les valeurs calculées sont situées du côté de la sécurité par rapport aux valeurs expérimentales EE.

### a-3. Sable de faible compacité

A la figure 38 la courbe  $C_{k,d}$  représente en fonction de la profondeur les valeurs de la résistance au cône mesurée avec un pénétromètre  $\varnothing 45 \text{ mm}$ . Les courbes EE représentent les valeurs expérimentales obtenues respectivement avec des pieux  $\varnothing 110 \text{ mm}$ ,  $\varnothing 216 \text{ mm}$  et  $\varnothing 320 \text{ mm}$ .

(\*) Pour le début voir page 191 du fasc. 4/1971/72.

TABLEAU XVI. — Pieu Ø = 0,52 m.

Profon- deur	Essai III	Pieu III			Essai IV	Pieu IV			Essai V	Pieu V			Essai VI	Pieu VI		
	C <sub>k,d</sub>	d <sub>g</sub>			C <sub>k,d</sub>	d <sub>g</sub>			C <sub>k,d</sub>	d <sub>g</sub>			C <sub>k,d</sub>	d <sub>g</sub>		
		L.G.M.	M(a)	R.I.G.		L.G.M.	M(a)	R.I.G.		L.G.M.	M(a)	R.I.G.		L.G.M.	M(a)	R.I.G.
m	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	4,22	0	0	0	4,22	0	0	0	2,43	0	0	0	12,27	0	0
0,20	2,33	13,17	0,62	2,00	2,33	2,93	0,42	0,65	4,33	5,60	0,34	0,30	2,933	22,46	0,62	5,09
0,40	22,36	20,65	0,90	3,54	40,36	17,75	1,17	2,27	2,36	14,04	0,84	0,96	44,36	25,74	1,45	5,72
0,60	80,38	24,46	2,95	8,43	64,38	18,17	2,24	6,53	24,38	23,83	1,82	2,17	74,38	25,96	2,74	9,26
0,80	448,41	20,23	4,30	10,03	384,41	17,37	3,37	8,77	76,41	24,59	3,00	3,67	23,41	25,62	4,10	11,60
1,00	146,44	12,95	5,35	11,20	84,44	16,43	4,29	8,64	86,44	24,77	4,52	4,57	24,44	25,41	5,84	13,72
1,20	84,47	17,64	7,48	12,73	64,47	16,03	6,23	10,34	80,47	24,76	6,14	5,57	72,47	24,96	7,64	14,47
1,40	48,49	17,00	8,84	13,71	52,50	15,93	7,89	12,34	78,49	24,68	7,96	6,87	62,50	25,12	9,87	13,71
1,60	40,52	16,86	8,75	14,45	56,52	15,74	9,53	13,81	72,52	24,44	8,80	7,95	64,52	25,23	11,89	17,53
1,80	32,55	16,87	9,08	15,80	44,55	15,39	9,96	15,09	64,55	24,20	11,68	9,65	56,55	25,56	13,78	15,77
2,00	30,58	17,33	10,28	17,43	44,58	14,84	10,57	16,59	48,58	23,89	12,43	11,74	54,58	25,76	14,42	21,78
2,20	22,61	18,54	11,69	18,53	32,61	15,12	10,84	18,75	40,61	24,54	13,69	14,37	52,61	25,60	16,49	23,03
2,40	22,64	22,90	13,62	21,36	46,64	18,65	12,60	19,94	32,64	27,55	17,43	17,42	32,64	25,52	14,45	24,90
2,60	34,66	26,66	15,63	25,60	34,66	21,76	14,55	22,47	40,66	32,82	20,35	20,86	36,66	26,63	17,04	26,97
2,80	46,69	27,74	17,52	28,78	32,69	24,43	16,47	25,22	46,69	35,72	22,84	24,78	32,69	28,69	20,96	29,64
3,00	60,72	28,82	18,52	31,15	42,72	26,47	17,48	27,73	34,72	37,19	26,03	28,57	40,72	32,50	24,40	32,39
3,20	56,75	28,23	18,63	32,46	54,75	26,81	18,34	30,09	80,75	37,46	26,72	32,01	48,75	37,98	23,51	34,54
3,40	44,78	28,48	19,32	33,67	52,78	27,06	19,60	34,56	42,77	37,39	28,76	34,52	32,78	39,85	25,74	35,86
3,60	42,80	29,23	20,59	34,00	38,80	30,38	21,12	42,20	96,80	36,85	30,44	25,76	100,80	39,39	27,61	35,87
3,80	32,83	34,23	24,82	34,48	52,83	34,63	23,03	32,47	64,83	34,88	32,00	36,79	42,83	38,43	29,07	35,77
4,00	56,86	34,81	23,68	34,92	62,86	32,44	23,95	32,04	84,86	37,10	33,05	35,69	46,86	34,37	30,38	34,28
4,20	52,88	32,30	25,35	34,65	68,89	32,48	25,15	34,32	64,88	36,88	30,25	34,94	64,89	34,76	26,50	37,88
4,40	48,82	32,86	27,19	34,25	64,92	32,74	24,62	30,50	54,92	36,50	29,03	34,74	44,92	34,26	25,78	34,07
4,60	56,94	31,86	27,40	33,79	44,94	32,28	25,80	29,85	48,94	36,52	34,20	37,82	32,94	34,66	32,56	34,80
4,80	44,97	32,84	26,44	33,37	40,97	28,85	26,68	28,80	36,97	38,56	44,22	37,06	34,97	34,38	37,45	35,65
5,00	39,00	33,04	27,26	33,02	39,00	24,04	27,54	27,96	44,00	44,87	43,35	22,57	45,00	38,32	38,93	36,90
5,20	30,03	34,61	28,57	32,74	44,03	23,76	28,58	27,09	60,03	44,59	45,16	31,77	40,03	37,08	43,13	35,24
5,40	39,06	36,33	33,22	32,45	43,06	23,63	34,05	26,15	163,06	34,46	46,44	30,58	47,07	34,28	45,98	33,56
5,60	43,08	36,70	35,12	32,04	39,08	23,25	34,00	25,13	42,08	34,44	46,87	24,74	46,08	30,94	48,25	34,11
5,80	47,44	28,23	36,94	34,67	38,44	22,97	36,88	23,99	84,44	29,42	44,30	27,45	45,44	27,75	49,64	28,35

600	5514	2857	3448	3971	5714	2284	3532	2268	5744	2835	4915	2570	10444	2544	3848	2557
620	5917	2725	3898	2973	5517	2184	3058	2133	5377	2766	3782	2406	6417	2374	2861	2339
640	7349	2532	4006	2855	4910	2120	2744	2044	4579	2712	3475	2256	5320	2286	2546	2208
660	5322	2428	4102	2717	3722	2073	2484	2009	3922	2675	3272	2125	2822	2475	2277	2154
680	4725	2469	3923	2565	1926	2038	2408	2040	3925	2650	2991	1998	2425	2452	2309	2148
700	5928	2344	3718	2409	2328	2150	2503	2101	3728	1573	2802	1888	2428	2229	2499	2456
720	4731	2264	3084	2245	2931	2154	2492	2147	3731	1546	2720	1795	2531	2341	2469	2459
740	4334	2215	2738	2120	1434	2137	2422	2186	2534	1484	2576	1716	2834	2318	2488	2465
760	5526	2435	2509	2033	2136	2128	2379	2460	2526	1475	2548	1653	4436	2100	2501	2488
780	2459	2966	2324	1937	2739	2120	2395	2158	2939	1467	2507	1581	2439	2498	2452	2243
800	2942	2958	2396	1977	2342	2452	2403	2456	2742	1453	2386	1502	2542	2148	2549	2242
820	2545	2936	2398	2004	2445	2309	2426	2453	2745	1439	2331	1414	2745	2225	2602	2254
840	1948	2474	2424	2065	2748	2419	2462	2450	2748	1420	2057	1346	2748	2363	2646	2242
860	2350	2431	2488	2160	2960	1909	2467	2437	2750	1391	1911	1253	3750	2445	2629	2220
880	2953	2624	2565	2259	2853	1960	2486	2446	3453	1438	1835	1231	3853	2444	2665	2486
900	3466	2456	2427	2332	2756	2078	2544	2086	4456	1406	1810	1259	4356	2391	2723	2438
920	3359	2331	2657	2371	3859	2067	2402	2045	1758	1590	1837	1368	4363	2348	2749	2076
940	4462	2434	2697	2367	3962	2055	2664	1992	1962	1858	1870	1490	3962	2292	2797	2057
960	4464	2487	2758	2345	4464	2037	2729	1924	2364	2409	1907	1634	4464	2280	2968	2482
980	4967	2488	2817	2301	3967	2014	2830	1843	3967	2219	1966	1819	4967	2857	3043	2406
1000	4570	2482	2942	2239	4370	1978	2784	1745	2770	2560	2088	2088	3370	3608	3252	2746
1020	5173	2466	3071	2457	4373	1949	2639	1685	3573	3558	2261	2403	8573	3561	3523	3108
1040	5476	2401	3152	2053	4576	1833	2465	1660	4876	4859	2494	2839	6576	3563	3701	3444
1060	5378	2305	3158	1946	4578	1830	2445	1701	8878	5675	2752	3141	5378	3601	3858	3689
1080	6781	2462	3092	1946	2381	2075	2452	1809	8781	5921	3043	3807	8781	3605	3955	3863
1100	2984	2487	3035	1976	2484	2429	2524	1964	10884	6075	3654	4479	8984	3528	4041	3941
1120	1787	2843	3309	2420	3587	2826	2588	2162	9887	6134	4429	5729	8187	3446	4401	3825
1140	4389	3246	3627	2364	3590	3234	2676	2445	8989	7645	5225	6054	4590	3361	3820	3857
1160	4992	3438	3694	2646	5492	3546	2774	2744	22592	7540	6030	6829	3992	3449	3781	3832
1180	4525	3784	3785	2953	4985	3872	2937	3075	30495	7231	6780	7302	5495	3450	4283	3906
1200	6398	4083	3880	3292	7498	4224	3463	3535	27398	6937	7394	7494	4398	3758	4467	4051
1220	7200	4241	4022	3656	6401	4753	3520	4075	25900	6722	7937	7476	3804	4436	4566	4235
1240	7404	4426	4256	4406	8404	4923	3877	4530	20604	6500	8343	7243	8204	4681	4642	4461
1260	7406	4726	4476	4468	11406	4988	4440	4836	15806	6329	7435	7012	7406	4664	4730	4663
1280	9009	4819	4682	4739	15809	4860	4425	4867	13009	6228	6471	6822	5809	4807	4825	4843
1300	13412	4774	4762	4888	13412	4571	4689	4811	11412	6082	6177	6737	6042	4845	4850	4943
1320	11415	4587	4998	4907	8246	4267	4661	4961	6646	6480	6002	6768	7646	4451	5028	5320

13,90	82,18	45,04	50,32	49,77	54,48	46,24	52,24	51,38	64,18	68,53	74,28	79,25	70,18	56,37	52,33	57,16
14,00	118,20	119,15	54,82	51,11	48,20	58,14	61,85	55,68	86,20	77,44	89,35	79,33	69,80	63,84	54,33	61,13
13,80	68,23	58,12	63,72	56,35	56,23	68,80	67,14	69,91	94,13	87,81	86,40	79,21	138,23	68,68	57,80	64,81
14,00	72,26	73,89	74,04	63,28	106,26	74,97	72,37	65,07	146,26	94,90	83,70	82,43	130,26	65,31	63,26	64,81
14,20	108,28	86,92	74,93	70,19	114,29	74,04	76,46	67,83	150,29	86,74	94,53	86,74	90,28	67,38	64,41	67,11
14,40	118,32	88,86	76,26	75,83	162,32	72,94	78,04	68,19	242,32	96,97	92,41	86,03	114,32	68,63	72,87	66,11
14,60	206,34	89,64	78,60	78,74	146,34	64,20	84,33	67,29	238,34	94,94	93,15	84,46	176,34	68,70	74,24	65,35
14,80	182,37	89,65	82,01	78,66	122,37	64,17	77,26	66,44	182,37	92,12	94,15	82,40	170,37	65,83	76,20	64,12
15,00	130,40	89,82	83,30	77,70	98,40	59,75	73,69	64,71	126,40	90,72	88,74	80,04	180,40	63,90	74,18	62,83
15,20	110,43	74,81	87,50	76,37	86,43	69,84	80,68	63,14	114,43	61,89	89,23	77,78	70,43	64,80	72,06	61,89
15,40	158,46	72,02	90,30	74,66	90,46	63,49	88,30	61,34	114,47	61,15	96,93	75,62	84,46	62,55	72,02	61,06
15,60	158,48	70,45	94,89	72,53	88,48	67,12	92,26	59,20	98,48	64,91	106,45	73,48	82,48	62,65	78,85	61,30
15,80	182,51	68,69	102,03	69,99	130,51	67,56	95,73	56,65	106,51	72,72	113,56	74,22	94,54	64,90	86,50	59,56
16,00	134,54	67,36	108,21	66,96	158,54	65,73	83,00	57,76	166,55	70,63	117,62	68,44	68,54	72,08	88,37	59,65
16,20	154,57	65,55	114,29	63,34	142,57	62,07	85,72	54,33	180,57	67,49	122,02	64,86	144,57	71,85	94,14	57,42
16,40	198,60	62,98	109,45	59,38	94,60	58,51	88,25	49,43	170,60	64,29	143,51	61,27	248,60	69,68	82,02	55,63
16,60	180,62	59,95	88,39	54,49	54,62	57,82	89,85	47,82	102,62	59,85	96,60	55,15	186,62	66,84	92,78	53,02
16,80	122,65	57,97	74,66	50,68	86,65	57,22	84,44	46,41	102,65	57,93	76,33	53,03	142,65	52,97	80,63	51,72
17,00	122,68	48,20	68,74	47,88	102,68	54,78	74,98	44,88	122,68	59,36	58,49	48,14	106,68	48,13	76,15	49,78
17,20	52,71	44,00	65,43	46,10	84,71	42,68	62,98	43,30	46,71	59,08	54,44	46,83	58,71	48,81	74,57	47,24
17,40	66,74	42,24	65,57	45,41	54,74	41,76	58,20	41,98	66,74	59,40	54,40	44,76	82,74	48,77	74,55	46,18
17,60	58,76	42,42	64,38	44,56	54,76	41,34	57,02	40,85	58,76	49,17	53,02	46,55	54,76	43,31	70,67	44,92
17,80	74,79	41,80		43,57	74,79	40,85	55,81	39,83	62,79			44,28	62,79	42,24	67,80	43,49
18,00	66,82			42,44	66,82	36,44	57,63	38,64	52,82			45,86	90,82	41,35	67,18	41,91
18,20	62,85			44,15	54,85	36,20	47,70	37,53	52,84			45,86	64,85	40,40	60,73	40,43
18,40	72,88			39,69	54,88	35,73		36,52	62,88			45,07	74,88	39,64		38,66
18,60	64,90			38,46	46,90			35,53	64,90			44,45	82,90			37,50
18,80	80,93			37,68	56,93			34,80	66,93			43,67	40,93			36,63
19,00	40,96			37,37	66,96			34,19	74,96			42,74	60,96			36,09
19,20	36,99			37,59	36,99			33,74	78,99				78,99			35,73
19,40	44,02				39,02			33,40	67,02				58,02			35,62
19,60	38,04				37,04			33,41	44,04				35,04			35,77
19,80	44,07				37,07			33,46					39,07			36,21
20,00					33,10								44,10			
20,20					37,13								39,13			
20,40					35,16								39,16			

**ESSAI DE PENETRATION III**

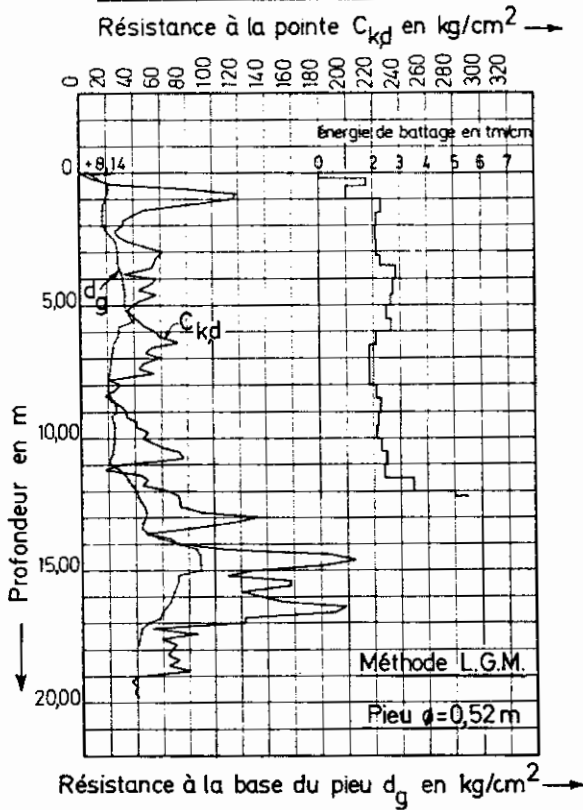


Fig. 34a.

**ESSAI DE PENETRATION V**

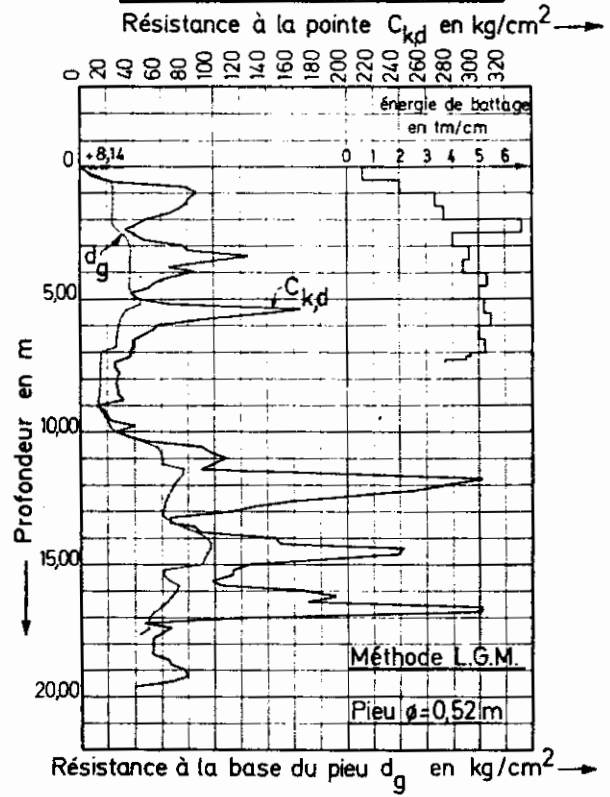


Fig. 34c.

**ESSAI DE PENETRATION IV**

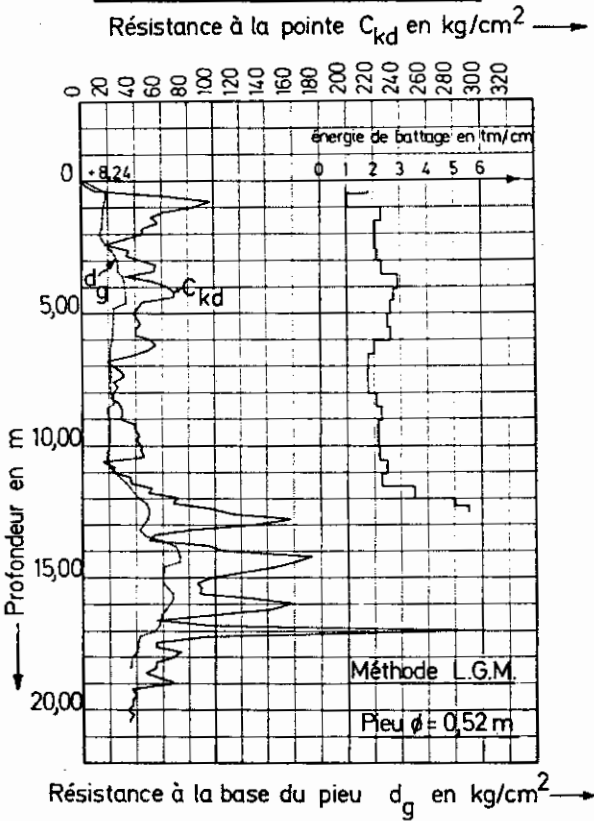


Fig. 34b.

**ESSAI DE PENETRATION VI**

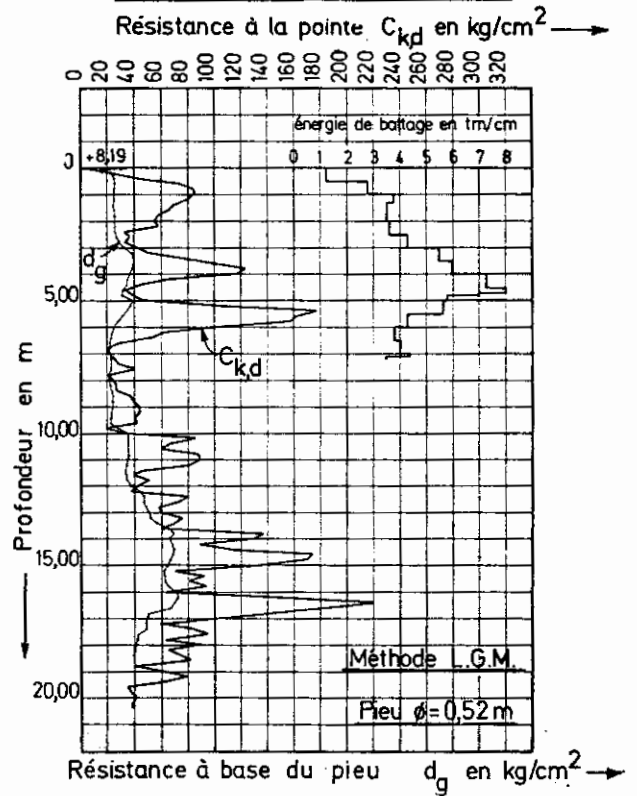


Fig. 34d.



### ESSAI DE PENETRATION III

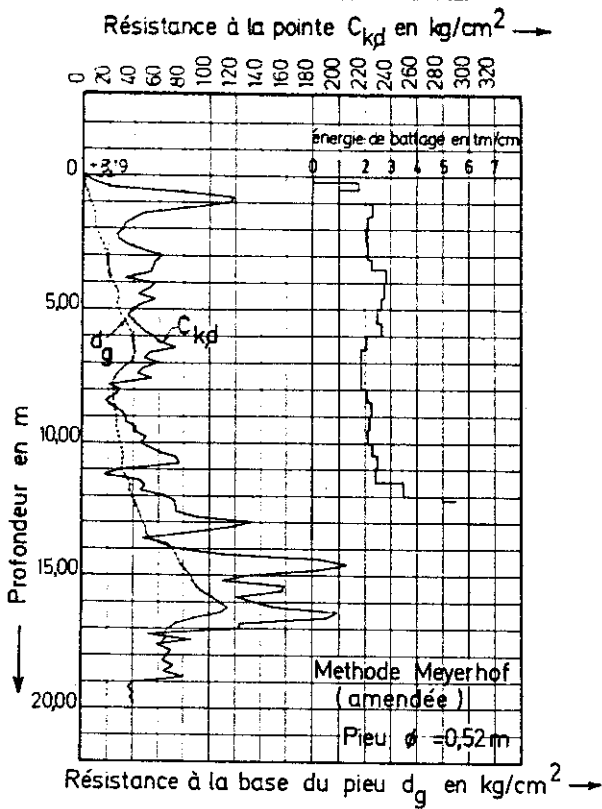


Fig. 35a.

### ESSAI DE PENETRATION V

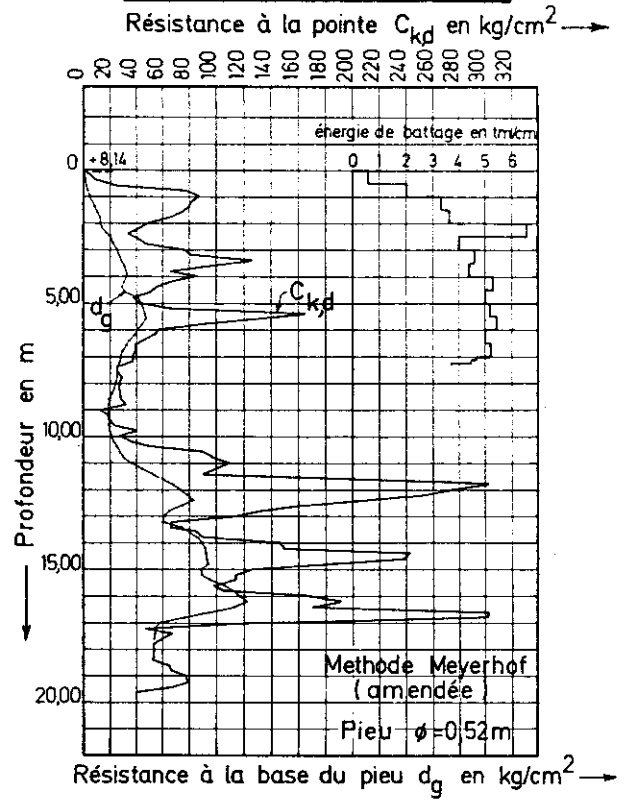


Fig. 35c.

### ESSAI DE PENETRATION IV

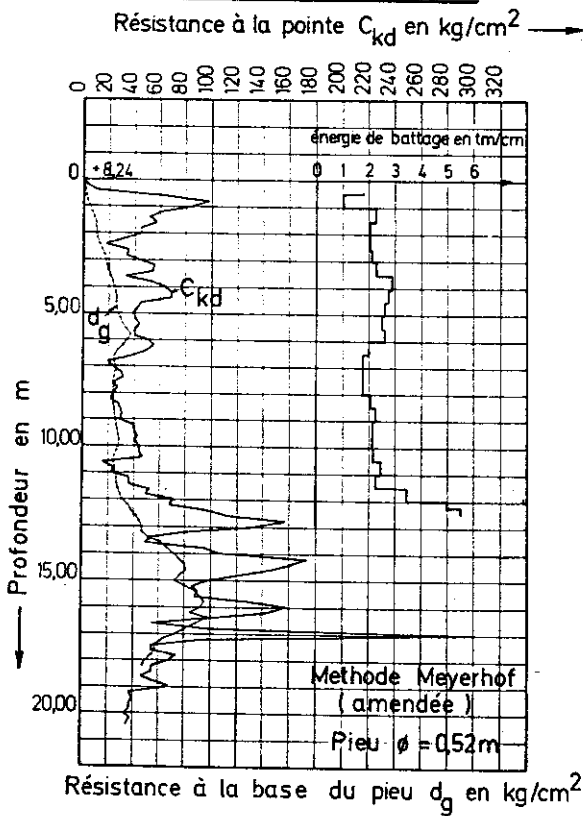


Fig. 35b.

### ESSAI DE PENETRATION VI

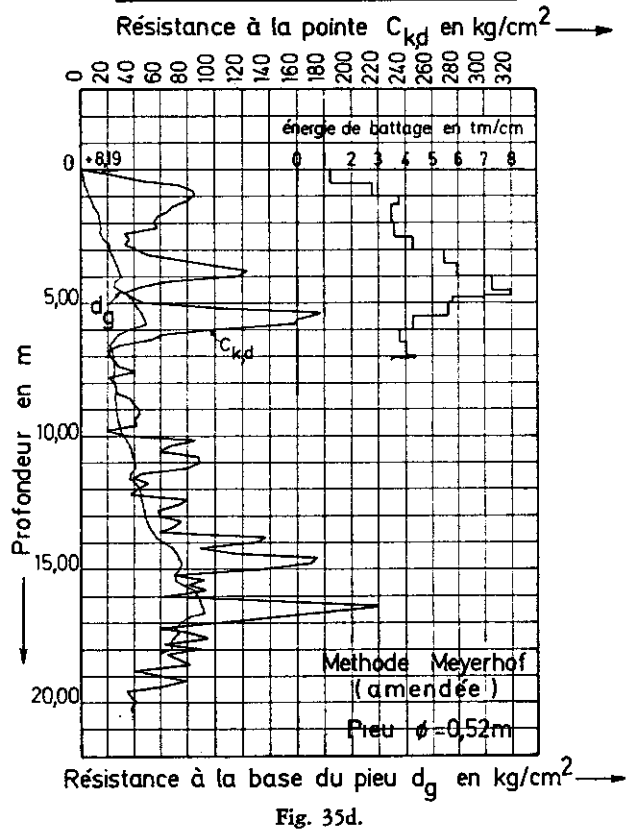


Fig. 35d.

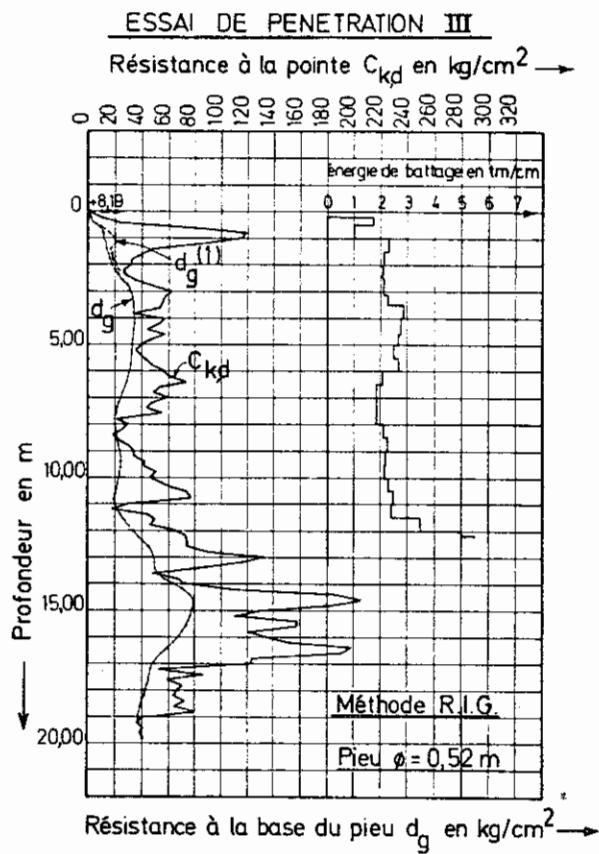


Fig. 36a.

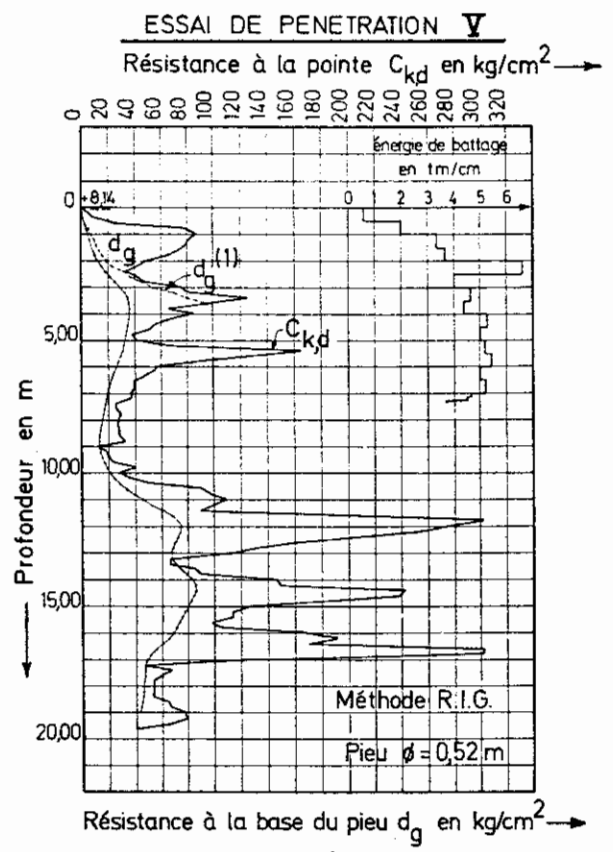


Fig. 36c.

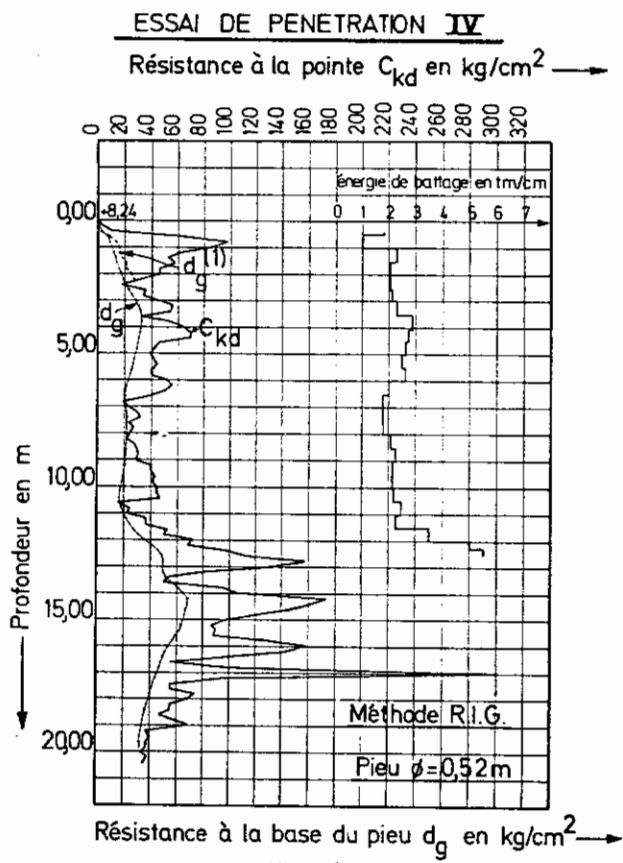


Fig. 36b.

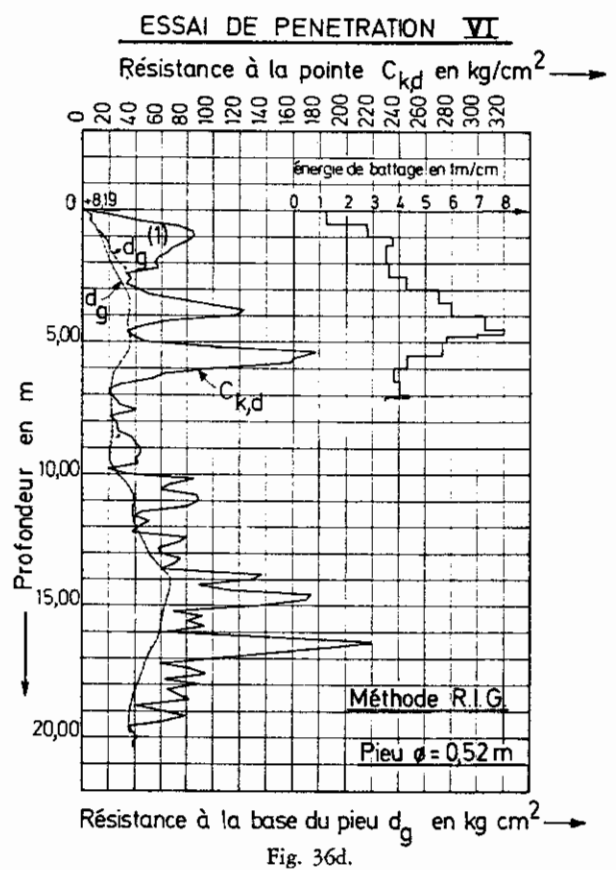


Fig. 36d.

ESSAIS de l'IRABA

Sable de compacité moyenne – Application de la méthode R.I.G.

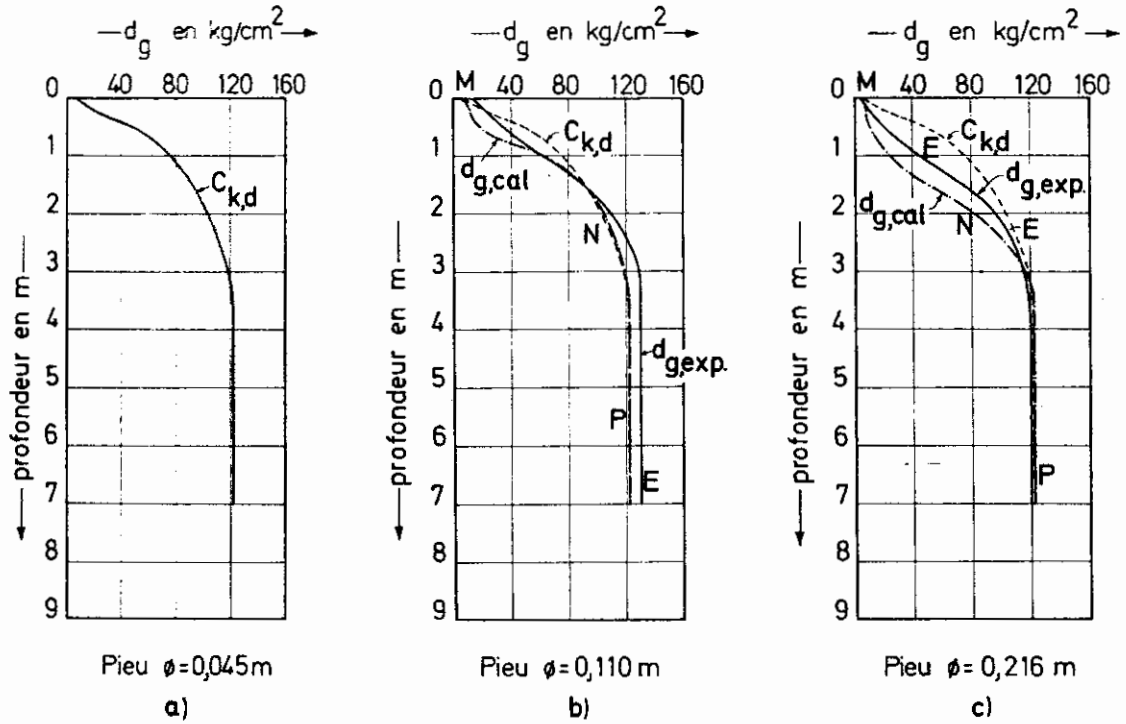


Fig. 37.

ESSAIS de l'IRABA

Sable de faible compacité – Application de la méthode R.I.G.

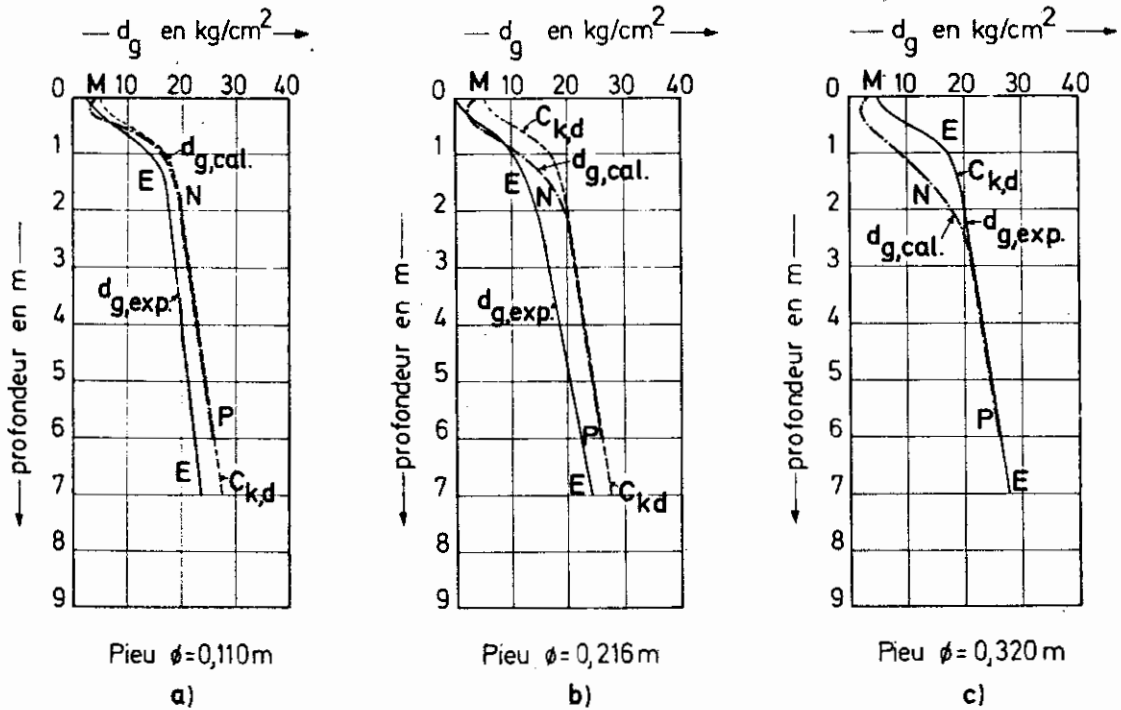


Fig. 38.

TABLEAU XVII. — Essai de l'IRABA. — Sable de compacité moyenne. Valeurs de  $d_g$  calculées par la méthode R.I.G.

1	2	3	4	5	6	7					8				
						$\phi$ 0,110 m					$\phi$ 0,216 mm				
						profondeur $h$	$C_{k,d}$	$\varphi, \varphi'$	$P_b$	$\frac{h}{d}$	$\beta_c$	$\frac{h}{D}$	$\beta_p$	$d_g^{(1)}$	$d_{g,j+1}$
m	kg/cm <sup>2</sup>	degré	kg/cm <sup>2</sup>					Form (62) kg/cm <sup>2</sup>	Form (100) kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>			Form (62) kg/cm <sup>2</sup>	Form (100) kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0	5	> 40°	0	0	0	0	0	5	5	5	0	0	5	5	5
0,20	20	37°30'	0,34	4,44	0,79	1,02	0,405	11,07	11,07	11,07	0,93	0,23	8,47	8,47	8,47
0,40	37,5	36°45'	0,68	8,89	1,37	3,64	0,72	14,20	14,20	14,20	1,85	0,43	9,14	9,14	9,14
0,60	57	36°45'	1,02	13,33	1,57	5,45	0,95	22,59	20,30	22,59	2,78	0,58	12,98	12,00	12,99
0,80	66	36°	1,36	17,77	1,57	7,27	1,24	40,86	32,16	40,86	3,70	0,78	20,05	15,94	18,68
1,00	75	35°30'	1,70	22,22	"	3,08	1,54	75	54,61	62,42	4,63	0,92	29,67	21,41	24,69
1,20	82	35°15'	2,04	26,66	"	10,97	1,57	82	70,22	76,09	5,56	1,05	39,32	27,97	32,53
1,40	89	34°45'	2,38			12,73	1,57	89	81,95	86,50	6,48	1,23	55,53	37,09	43,05
1,60	95	34°30'	2,72					95	91,03	94,38	7,41	1,40	75,20	49,00	56,52
1,80	99	34°	3,06					99	97,73	100,40	8,33	1,57	99	64,03	70,24
2,00	103	33°45'	3,40					103	103	105,3	9,26	1,57	103	76,44	81,70
2,20	107,5	33°30'	3,74					107,5	107,5	108,75			107,5	86,96	91,26
2,40	110	33°15'	4,08					110	110	111,5			110	95,55	99,16
2,60	113	33°	4,42					113	113	114,5			113	102,76	105,84
2,80	116	32°45'	4,76					116	116	117			116	108,92	111,48
3,00	118	32°30'	5,10					118	118	119			118	114,03	116,19
3,20	120	32°15'	5,44					120	120	120,75			120	118,34	119,92
3,40	121,5	32°	5,78					121,5	121,5	122			121,5	121,5	122
3,60	122,5	31°45'	6,12					122,5	122,5	122,5			122,5	122,5	122,5
3,80	122,5	31°30'	6,46					122,5	122,5	122,5			122,5	122,5	122,5
4,00	122,5	31°15'	6,80					122,5	122,5	122,5			122,5	122,5	122,5
4,20	122,5	31°	7,14					122,5	122,5	122,5			122,5	122,5	122,5
4,40	122,5	29°45'	7,48					122,5	122,5	122,5			122,5	122,5	122,5
4,60	122,5	29°30'	7,82					122,5	122,5	122,5			122,5	122,5	122,5
4,80	122,5	29°15'	8,16					122,5	122,5	122,5			122,5	122,5	122,5



Les détails des calculs de la méthode R.I.G. sont donnés au tableau XVIII.

Les valeurs de  $\phi'$  deviennent rapidement inférieures à  $32^{\circ}30'$ . D'autre part le diamètre des pieux essayés est inférieur à 0,40 m. Le calcul basé sur l'entre-distance  $a = 0,20$  m suffit.

Les valeurs obtenues pour  $d_g$  sont représentées par les courbes MNP des figures 38.

On constate que pour les pieux  $\varnothing 110$  et  $\varnothing 216$  les valeurs calculées sont supérieures aux valeurs expérimentales, tout en étant inférieures ou au plus égales aux valeurs  $C_{k,d}$ . Remarquons que dans le cas du sable de faible compacité il s'agit de valeurs relativement faibles de  $d_g$  de l'ordre de 10 à 20 kg/cm<sup>2</sup>. D'autre part il est assez étonnant que les courbes expérimentales EE ne montrent pas la tendance de retrouver la courbe  $C_{k,d}$  à grande profondeur. Nous croyons dès lors que les courbes expérimentales manquent d'une certaine précision ou sont influencées

par les variations statistiques des paramètres conditionnant les essais.

Cela apparaît par exemple assez clairement du fait que à 1 m de profondeur, on a renseigné les valeurs expérimentales suivantes.

cône $\varnothing 45$ mm	$d_g = 16$ kg/cm <sup>2</sup>
pieu $\varnothing 110$ mm	$d_g = 13$ kg/cm <sup>2</sup>
$\varnothing 216$ mm	$d_g = 10$ kg/cm <sup>2</sup>
$\varnothing 320$ mm	$d_g = 16$ kg/cm <sup>2</sup>

On ne voit guère la raison pour laquelle  $d_g$  présenterait un minimum pour  $\varnothing = 216$  mm.

Pour le pieu  $\varnothing 320$  mm la méthode R.I.G. donne pour  $d_g$  des valeurs situées du côté de la sécurité. Les calculs montrent qu'au cas de sables de moyenne et faible compacité on trouve à partir d'une profondeur relativement faible à partir de la surface (2 à 3 m pour les pieux considérés) des valeurs de  $d_g$  égales aux valeurs  $C_{k,d}$ .

#### SAMENVATTING :

## METHODEN OM HET GRENSDRAAGVERMOGEN VAN EEN GEHEIDE PAAL UIT DE RESULTATEN VAN DIEPSONDERINGEN AF TE LEIDEN (2<sup>e</sup> deel)\*

### V. VERGELIJKING VAN DE GRENSDRAAGVERMOGENS DOOR WEERSTAND AAN DE BASIS BEREKEND MET DE METHODE R.I.G. EN DE WAARDEN AFGELEID UIT BELASTINGSPROEVEN OP PALEN

In de tabel XIX werden de waarden berekend met de methode R.I.G. voor het grensdraagvermogen door weerstand aan de basis vergeleken met de waarden afgeleid uit belastingsproeven.

Er werden o.m. palen van het type Franki, Vibro en Simpol beschouwd.

Wanneer het gaat om palen waarbij een geprefabriceerde basis welke uitkraagt t.o.v. de voerbuis in de

(\*) Voor de aanvang zie n<sup>o</sup> 4/1971/72, biz. 261.

grond wordt geheid, en achteraf geen voorzieningen zijn getroffen om onder hoge druk een verbrede betonoet te verwezenlijken, wordt uitgegaan van de weerstand welke met de conus wordt opgemeten, wanneer deze reeds meer dan 5 cm t.o.v. de buizen van het diepsondeerapparaat is uitgedrukt. Deze weerstand kan in dichtgepakte onsamenhangende lagen 10 à 20 % kleiner zijn dan de weerstand opgemeten wanneer het contact van de conus met de buizen juist wordt verbroken (fig. 39).

Daar de belastingsproeven praktisch nooit tot aan de breuk worden doorgevoerd, werd getracht door toepassing van de methode Van der Veen een orde van grootte van de breukweerstand te verkrijgen.

In de tabel XIX zijn de voor het grensdraagvermogen door weerstand aan de basis berekende waarden  $B_g$

ANNALES  
DES  
TRAVAUX  
PUBLICS  
DE BELGIQUE



TIJDSCHRIFT  
DER  
OPENBARE  
WERKEN  
VAN BELGIË

# METHODES DE DEDUCTION DE LA CAPACITE PORTANTE D'UN PIEU A PARTIR DES RESULTATS DES ESSAIS DE PENETRATION

(2<sup>e</sup> suite et fin)\*

par

**Prof. Dr. ir E. DE BEER**

Professeur ordinaire à la R.U.G. et à la K.U.L.  
Directeur Général de l'Institut Géotechnique de l'Etat

## VII. COMPARAISON DES CAPACITES PORTANTES DE RUPTURE PAR RESISTANCE A LA BASE CALCULEES PAR LA METHODE R.I.G. AVEC LES VALEURS DEDUITES D'ESSAIS DE CHARGEMENT SUR PIEUX

Au tableau XIX on a réuni les données permettant de comparer les capacités portantes de rupture par résistance à la base calculées par la méthode R.I.G. avec celles déduites d'essais de chargement.

Certains des pieux considérés sont arrêtés dans des couches de sable de compacité moyenne et d'autres dans des sables de forte compacité. Il s'agit de pieux battus moulés dans le sol et de types divers: Franki, Vibro et Simpol.

Remarquons que lorsqu'il s'agit de types de pieux qui sont foncés avec une base préfabriquée dont le diamètre est supérieur à celui du fût et pour lesquels aucun effort de battage supplémentaire n'est exercé pour réaliser un bulbe sous forte pression, les conditions de serrage du sol autour de la base du pieu peuvent être moins favorables que lors du battage d'un fourreau terminé par une base ayant le même diamètre que le fourreau. On peut tenir compte de cette condition moins favorable de la façon suivante: dans l'essai de pénétration on exécute une première lecture de la résistance au cône lorsque celui-ci se dégage du fourreau et une deuxième lorsque'il se trouve à plus de 5 cm du fourreau (fig. 39).

(\*) Pour le début voir page 191 du fasc. 4/1971/72 et la 1<sup>re</sup> suite à la page 341 du fasc. 5/1971/72.

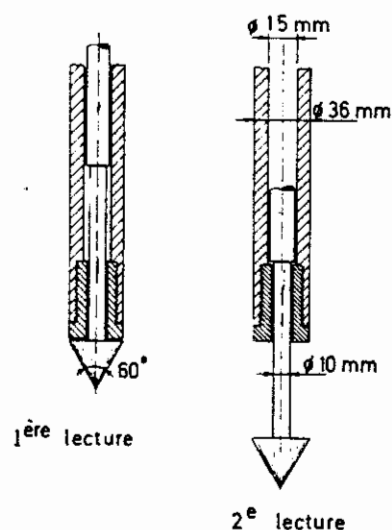


Fig. 39.

Dans la 2<sup>e</sup> position le sol a plus de liberté de se mouvoir autour du cône que dans la première position. Dans des sols pulvérulents compacts il en résulte une réduction de la résistance au cône de l'ordre de 10 à 20%.

Au cas de pieux battus dans des couches pulvérulentes avec une base préfabriquée de hauteur limitée, ayant un diamètre supérieur à celui du fourreau, et pour autant que le système de pieux ne comporte aucune disposition pour former par un



battage énergétique un bulbe de béton, les calculs se font à partir de la 2<sup>e</sup> lecture et non de la première.

Si nous parcourons le tableau XIX nous trouvons en première colonne le lieu où l'essai a été effectué.

Les colonnes 2 à 7 se rapportent aux caractéristiques du pieu: type de pieu, numéro d'identification du pieu, diamètre du fût  $D_f$ , diamètre de la base  $D$ , profondeur  $H$  de la base sous la surface du sol, section  $\Omega$  de la base.

A la 8<sup>e</sup> colonne on trouve le n° d'identification de l'essai de pénétration qui a été effectué préalablement au droit ou à proximité de la verticale du pieu. On y a indiqué aussi si l'on a considéré la première ou la 2<sup>e</sup> lecture.

A la 9<sup>e</sup> colonne est renseigné le n° de la figure de la présente contribution, où se trouvent les diagrammes  $C_{k,d}$  et  $L$  de l'essai considéré.

A partir des valeurs  $C_{k,d}$  des essais de pénétration, et pour le diamètre considéré de la base, la méthode R.I.G. permet de calculer les capacités portantes limites unitaires à la base du pieu.

Pour chaque pieu les calculs de  $d_g$  sont détaillés dans les tableaux dont les numéros sont renseignés à la 10<sup>e</sup> colonne.

Les valeurs de  $d_g$  sont aussi dessinées sur les figures renseignées à la 9<sup>e</sup> colonne.

Au niveau de la base des pieux on trouve les valeurs de  $d_g$  renseignées à la 11<sup>e</sup> colonne.

La 12<sup>e</sup> colonne renseigne le n° des figures de la présente contribution où l'on trouve les courbes charges-enfoncements, les courbes charges-temps, et les diagrammes de la méthode Van der Veen [13]. Remarquons que cette méthode ne permet pas toujours de dégager avec grande précision la charge portante de rupture.

La 13<sup>e</sup> colonne renseigne les valeurs de capacités portantes limites totales  $T_r$  déduites des essais de chargement à partir de cette méthode.

La 14<sup>e</sup> colonne fournit le frottement latéral  $L$  éprouvé par les tubes  $\varnothing 3,6$  cm du pénétromètre, lorsqu'est atteinte la profondeur  $H$  renseignée à la colonne 6.

A la 15<sup>e</sup> colonne on trouve la valeur calculée pour l'apport de capacité portante limite du pieu par résistance de frottement latéral  $F_r$ , en appliquant la simple règle de proportionnalité:

$$F_r = \frac{D_f}{3,6} L \quad (126)$$

La valeur de  $D_f$  se trouve à la colonne 4, et celle de  $L$  à la colonne 14.

La 16<sup>e</sup> colonne fournit la valeur  $B_g$  de la capacité portante limite par résistance à la base, obtenue par la méthode R.I.G.:

$$B_g = d_g \cdot \Omega \quad (127)$$

La valeur de  $\Omega$  se trouve à la colonne 7, et celle de  $d_g$  à la colonne 11.

A la 17<sup>e</sup> colonne on trouve la valeur  $B_r$  de la capacité portante limite par résistance à la base, déduite de l'essai de chargement:

$$B_r = T_r - F_r \quad (128)$$

La valeur de  $T_r$  se trouve à la colonne 13 et celle de  $F_r$  à la colonne 15.

La 18<sup>e</sup> colonne fournit le rapport  $B_g : B_r$  et permet donc de se rendre compte de la plus ou moins grande concordance des valeurs obtenues par la méthode R.I.G. et celles déduites des essais de chargement.

La 19<sup>e</sup> colonne renseigne finalement la nature des couches entourant la base des pieux.

Les valeurs du rapport  $B_g : B_r$  renseignées à la colonne 18 varient entre 0,81 et 1,49.

Il est toutefois utile de faire une distinction suivant le type de pieu moulé dans le sol.

1°) Pour les pieux Vibro les calculs ont été effectués à partir de la 2<sup>e</sup> lecture du cône. Malgré cela on obtient des valeurs calculées qui sont 1,39 et 1,49 fois plus grandes que les valeurs mesurées. Il faut remarquer que les pieux Vibro ont été réalisés avec une base débordant sur le diamètre du fût. Lorsqu'est atteinte la profondeur désirée le fourreau est rempli de béton, et le seul compactage est réalisé par le mouvement de va et vient vertical rapide du fourreau. Ce procédé semble insuffisant pour réaliser immédiatement au-dessus de la base un bulbe de béton enfoncé dans le sol sous haute pression.

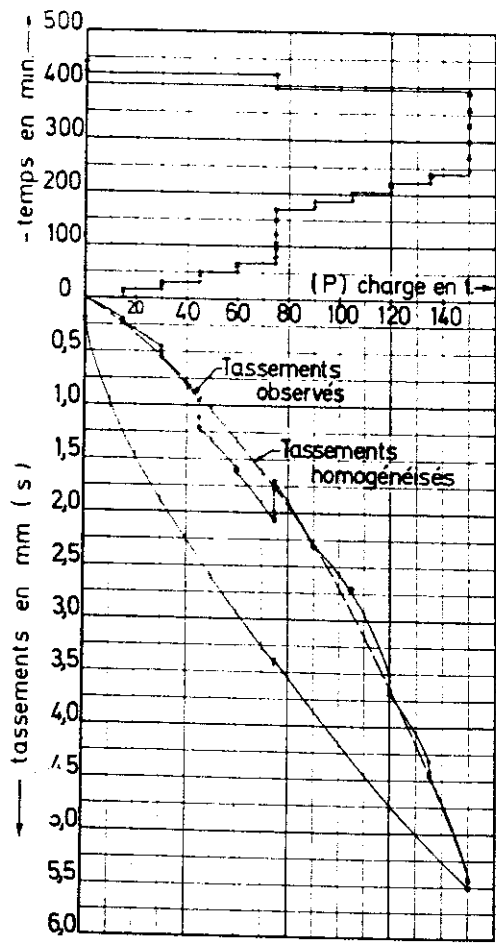
Lors du battage du pieu Vibro à base élargie le sol subit une compression moindre que lorsqu'on effectue l'essai de pénétration. Cette réduction de compression n'est pas compensée ultérieurement lors de la confection du fût.

Nous avons dès lors été amené à refaire les calculs pour les pieux Vibro en introduisant dans les calculs non la surface de la base élargie, mais uniquement la surface du fût. Les chiffres se rapportant à cette hypothèse sont donnés aux deux dernières lignes du tableau XIX. Avec cette hypothèse on trouve pour le rapport  $B_g : B_r$  des valeurs de 1,06 et de 0,99.

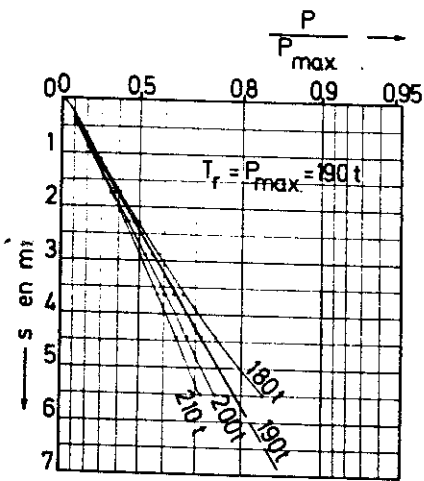
12	13	14	15	16	17	18	19
Essai de chargement	tement	Frottement	Capacité portante de	Déduite de		$\frac{B_g}{B_r}$	Nature du sol sous la base du pieu
n°	force portante	latéral	rupture à la base	la méthode RIG	l'essai de		
fig	limite totale	sur $\phi 3,6$ cm	du pieu	Calculée par la	chargement		
	$T_p$ (t)	L (kg)	$F_r$ (t)	$B_g$ (t)	$B_r$ (t)		
40	85	1500	16,7	94,9	68,3	1,39	sable de compacité moyenne
42	190	4250	53,1	131,6	136,9	0,96	"
44	370	6250	104,2	287,0	265,8	1,08	"
46	310	8500	101,5	310,9	208,5	1,49	sable très compact
48	260	5250	46,7	217,4	213,3	1,02	"
50	170	4750	42,2	153,5	127,8	1,20	"
52	250	4000	46,7	186,4	203,3	0,92	"
52	250	4000	46,7	163,8	203,3	0,81	"
54	200	3950	46,1	171,9	153,9	1,12	"
40	85	1500	16,7	72,5	68,3	1,06	sable de compacité moyenne
46	310	8500	101,5	206,5	208,5	0,99	sable très compact

TABLEAU XIX. — Tableau comparatif des capacités portantes de rupture par résistance à la base calculées par la méthode R.I.G. et celles déduites d'essais de chargement sur divers pieux.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lieu	Type	Caractéristiques du pieu					Essai de pénétration		$d_g$ (calculé avec D)	
		n°	diam. fût $D_f$ (cm)	diam. base D (cm)	profondeur de la base H (m)	Section de la base $\Omega$ (cm <sup>2</sup> )	n°	n° fig.	n° du tableau	valeur (kg/cm <sup>2</sup> )
Courtrai	Vibro	1	40	47	8,48	1735	I (2 <sup>e</sup> lecture)	41	XX	54,7
Zwijndrecht	Franki	6	45	64	20,00	3217	VII (1 <sup>ère</sup> lecture)	43	XXI	40,9
Zwijndrecht	Franki	70	60	80	21,34	5027	XXIV (1 <sup>ère</sup> lecture)	45	XXII	57,1
Anvers	Vibro	136	43	56,5	10,90	2507	XXX (2 <sup>e</sup> lecture)	47	XXIII	124,0
Anvers	Simpol	41	32	42	12,95	1385	CXXIX (2 <sup>e</sup> lecture)	49	XXIV	157,0
Anvers	Simpol	26	32	42	11,86	1385	LX + C799/A (2 <sup>e</sup> lecture)	51	XXV	110,8
Anvers	Simpol	249	42	50	10,40	1964	LXXXVI (1 <sup>ère</sup> lecture)	53-a	XXVI-a	94,9
		249	42	50	10,40	1964	LXXXVI (2 <sup>e</sup> lecture)	53-b	XXVI-b	83,4
Anvers	Simpol	125	42	50	10,80	1964	CIX (2 <sup>e</sup> lecture)	55	XXVII	87,5
						Section du fût				calculé avec $D_f$
Courtrai	Vibro	1	40	47	8,48	1257	I (2 <sup>e</sup> lecture)	56	XX	57,7
Anvers	Vibro	136	43	56,5	10,90	1452	XXX (2 <sup>e</sup> lecture)	57	XXIII	142,2



a)



b)

Fig. 42.

Zwijndrecht. Pieu Franki n° 6,  $\varnothing = 45/64$  cm.

ESSAI DE PENETRATION VII à ZWIJNDRECHT

Résistance à la base du pieu  $d_g$  en  $\text{kg/cm}^2$

Résistance à la pointe  $C_{k,d}$  en  $\text{kg/cm}^2$

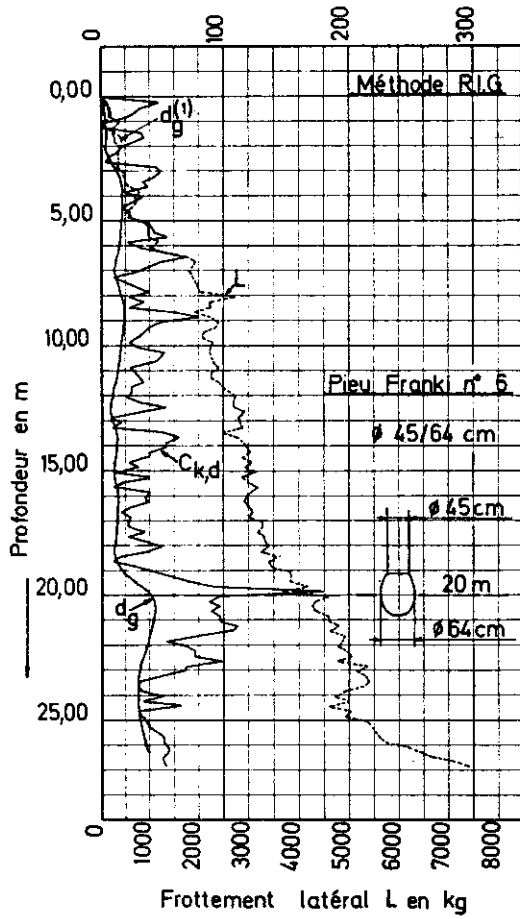


Fig. 43.

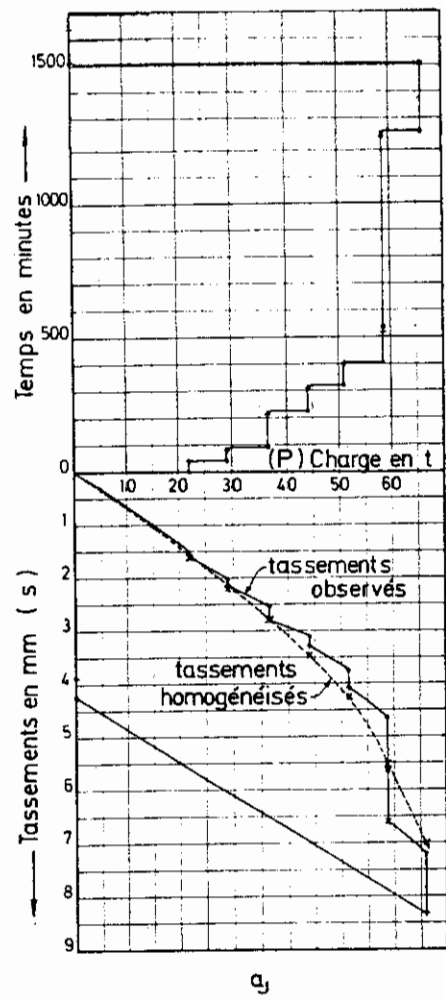


Fig. 40a.  
 $\varnothing = 40/50$  cm.

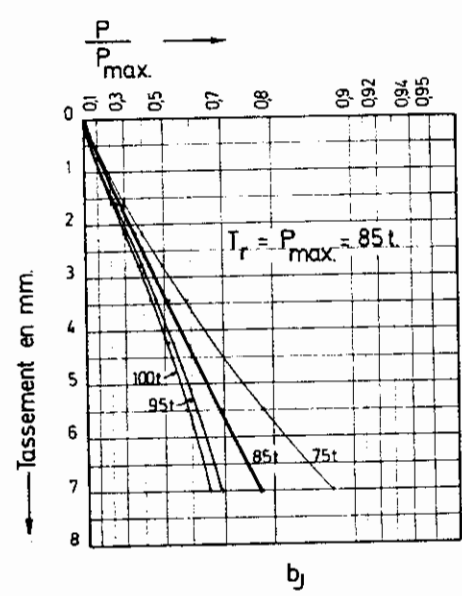


Fig. 40b.  
 Courtrai : Pieu Vibro n° 1.

ESSAI DE PENETRATION I à COURTRAI

Résistance à la base du pieu  $d_g$  en  $kg/cm^2$   
 Résistance à la pointe  $C_{kd}$  en  $kg/cm^2$  (2<sup>e</sup> lecture)

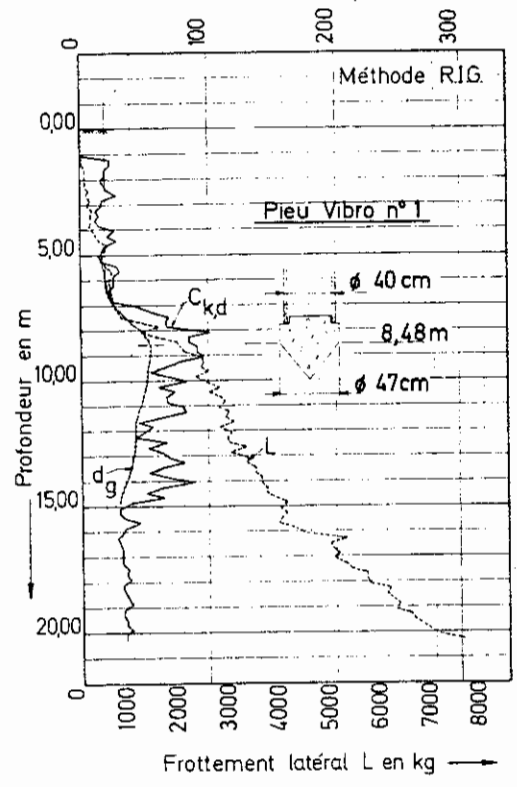
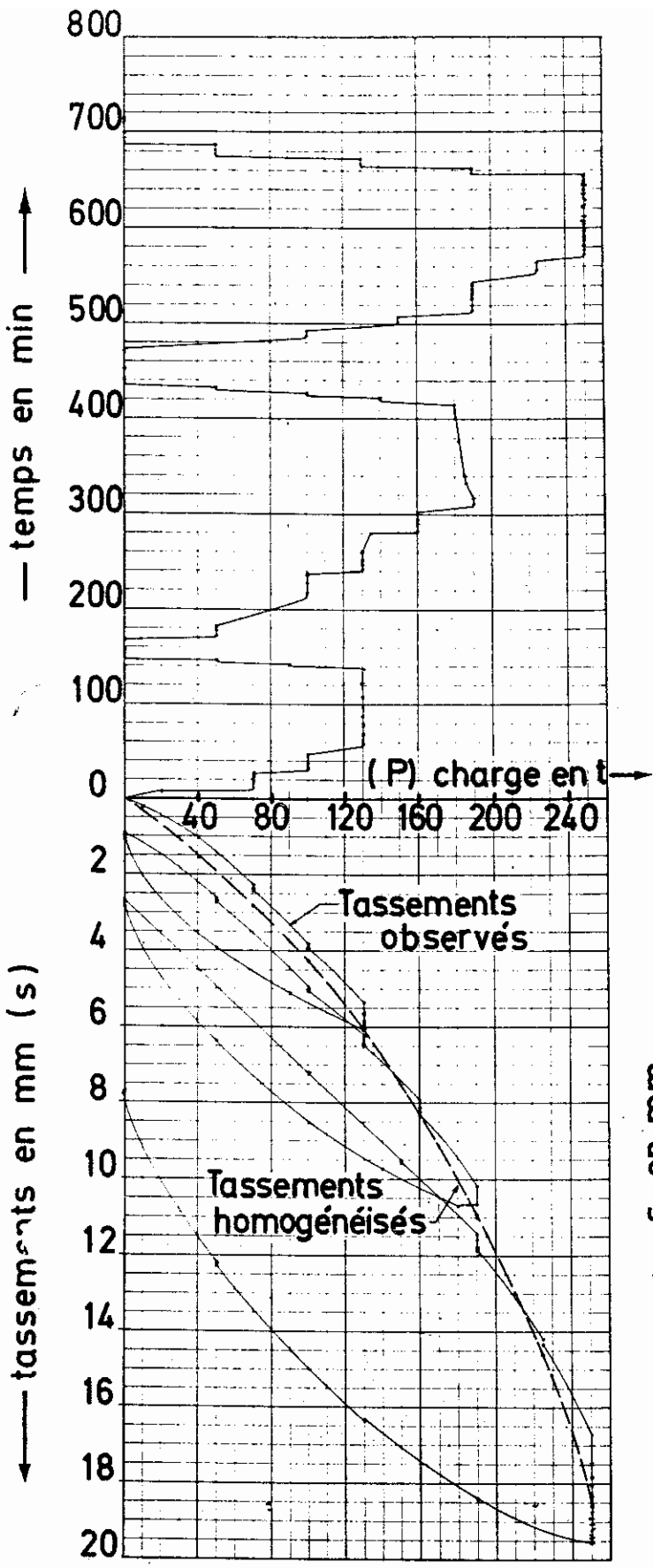


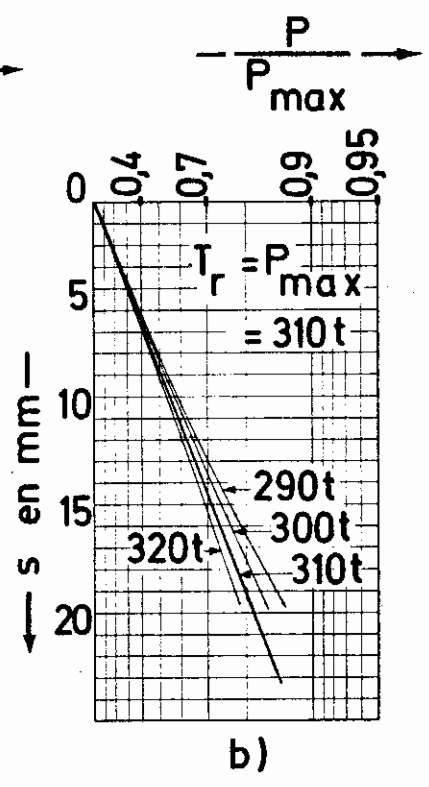
Fig. 41.



**ANVERS**

Pieu Vibro n° 136

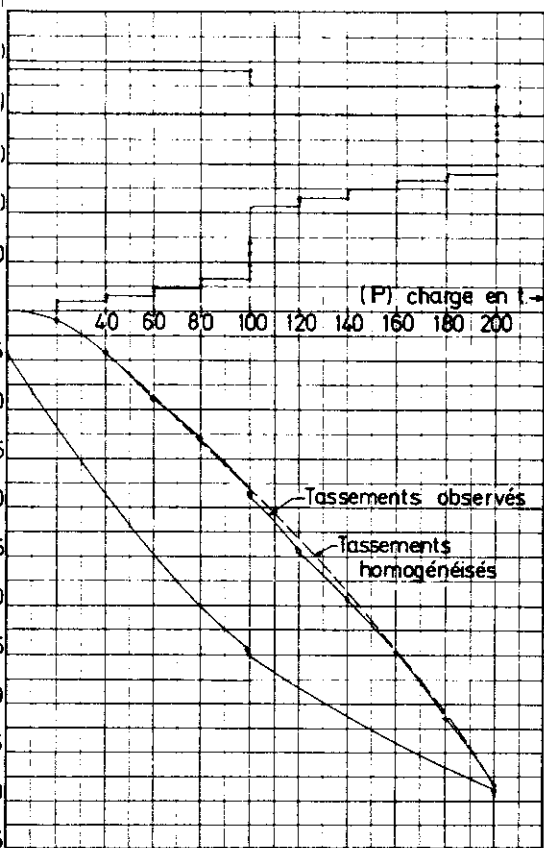
φ 43 / 56,5 cm



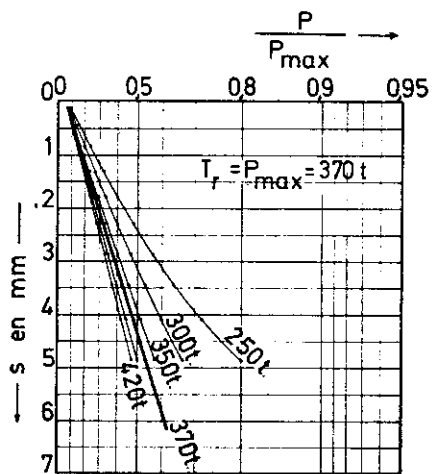
a)

b)

Fig. 46.



a)



b)

Fig. 44.

Zwijndrecht. Pieu Franki n° 70,  $\varnothing$  60/80 cm.

ESSAI DE PENETRATION XXIV à ZWIJNDRECHT

Résistance à la base du pieu  $d_g$  en  $\text{kg/cm}^2$  →

Résistance à la pointe  $C_{kd}$  en  $\text{kg/cm}^2$  (2<sup>e</sup> lecture)

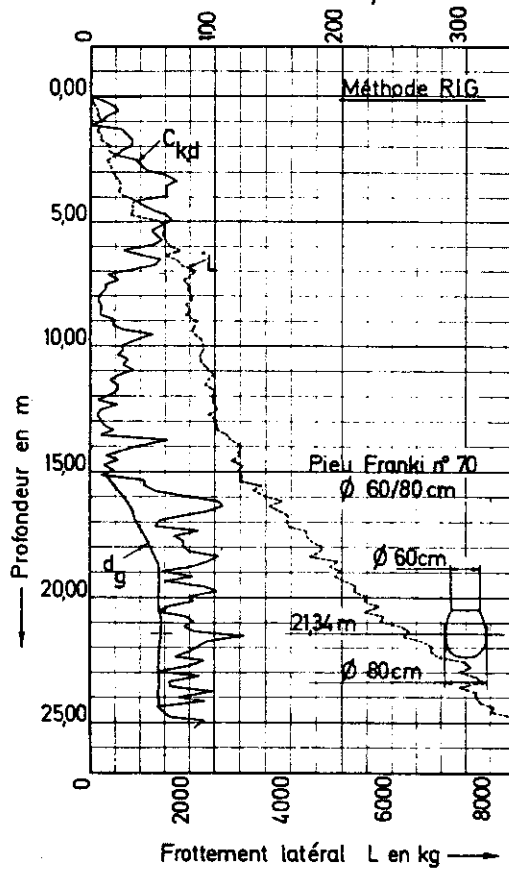
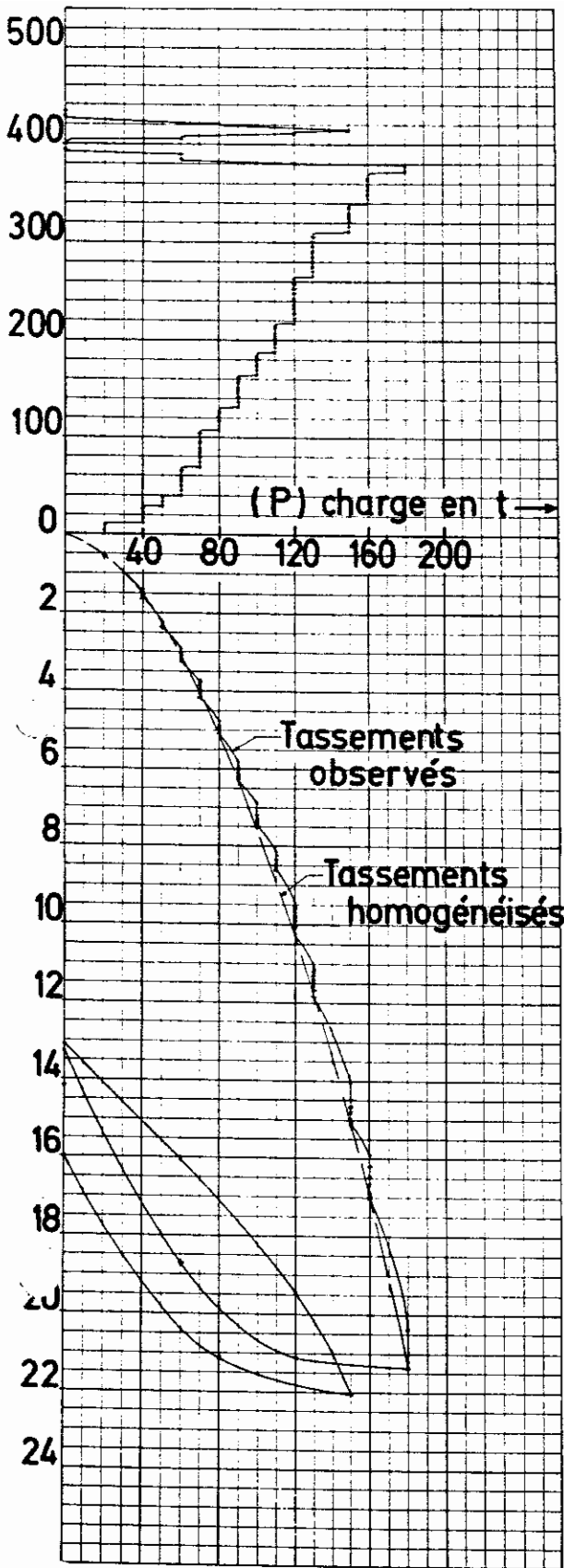


Fig. 45.



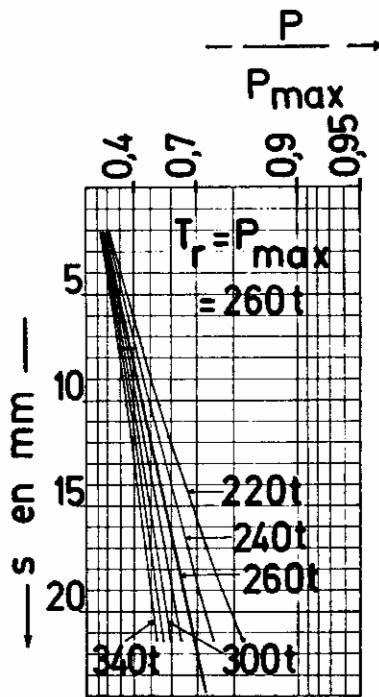
a)

Fig. 48.

ANVERS

PIEU SIMPOL N°41

$\phi$  32 / 42 cm



b)

Profondeur en m



ESSAI DE PENETRATION XXX à ANVERS

Résistance à la base du pieu  $d_g$  en  $\text{kg/cm}^2$

Résistance à la pointe  $C_{kd}$  en  $\text{kg/cm}^2$  (2<sup>e</sup> lecture) →

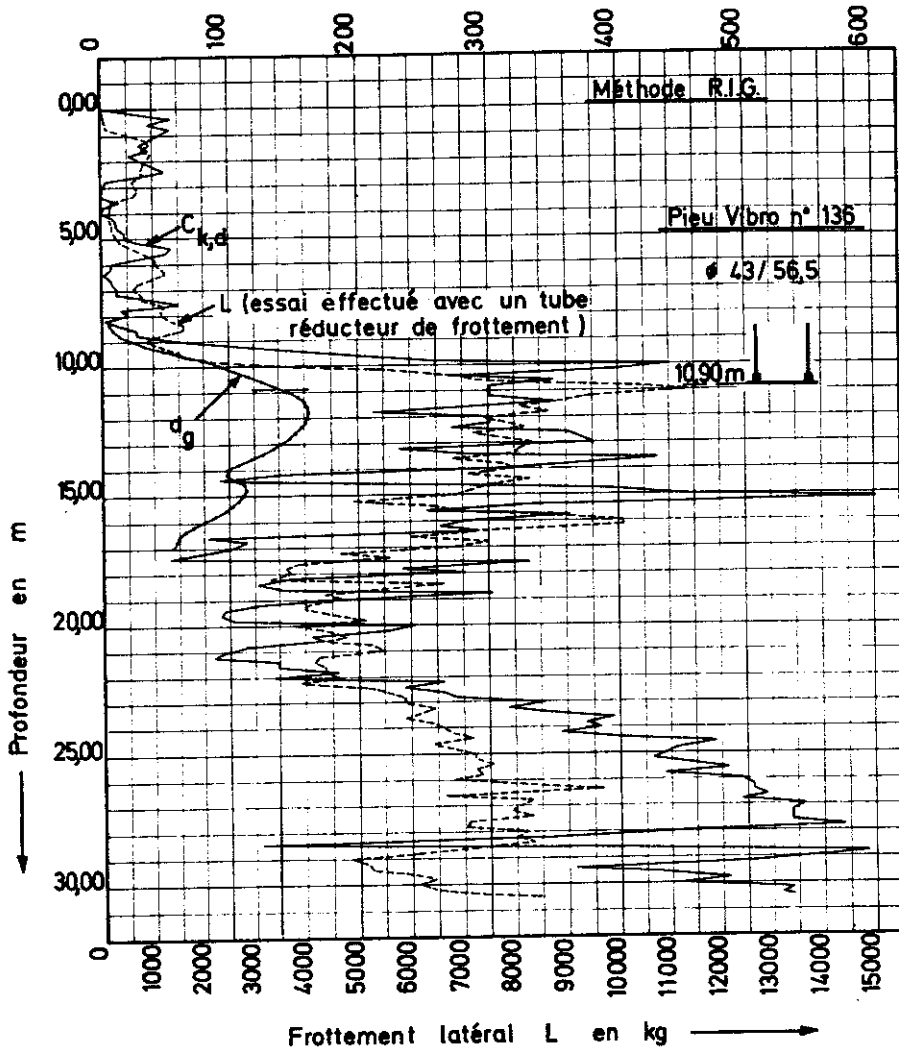


Fig. 47.

SAI DE PENETRATION CXXIX à ANVERS

Résistance à la base du pieu  $\sigma_g$  en  $\text{kg/cm}^2$

Résistance à la pointe  $C_{kd}$  en  $\text{kg/cm}^2$  (2<sup>e</sup> lecture)

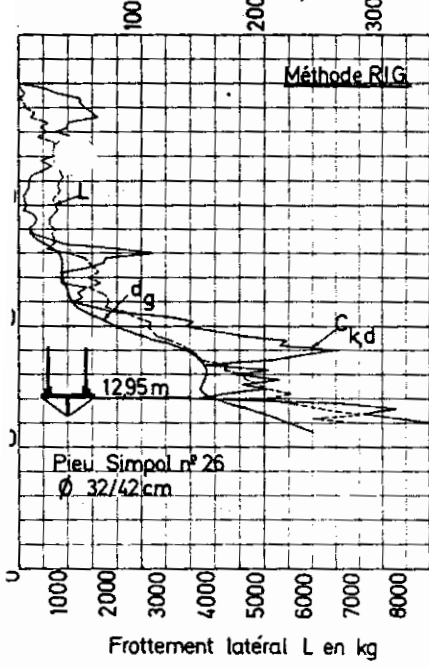


Fig. 49.

PIEU SIMPOL n° 26

$\phi$  32/42 cm

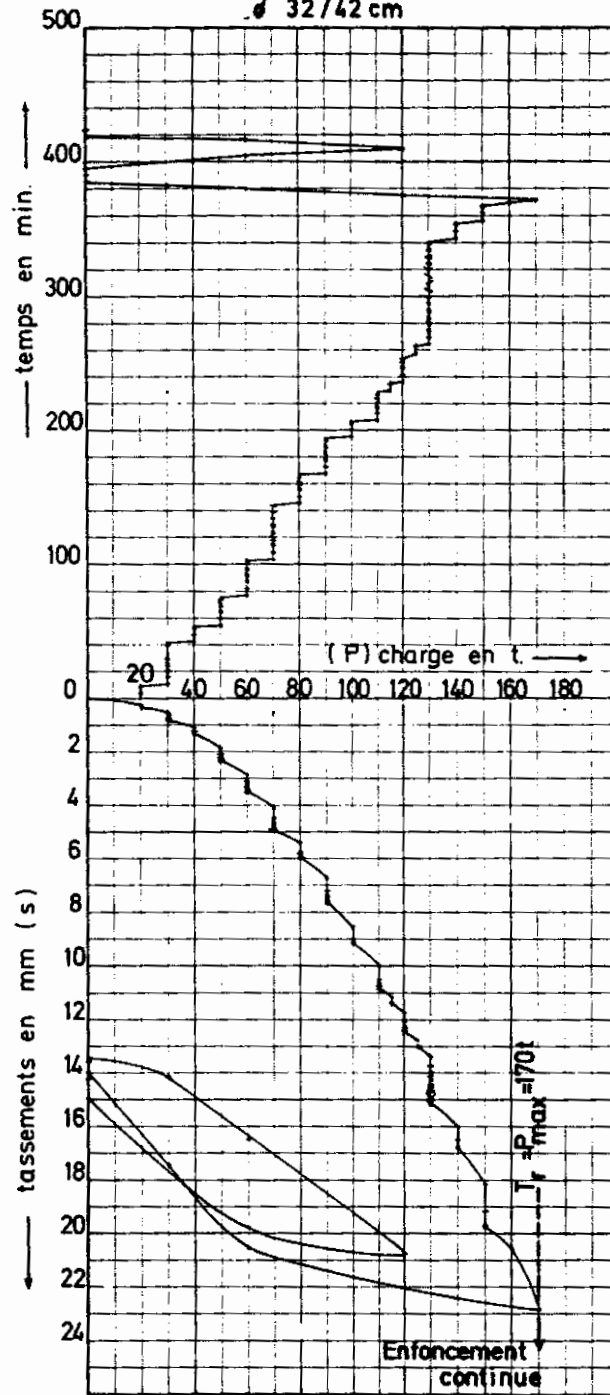


Fig. 50.

# ESSAI DE PENETRATION COMBINE LX + C799/4

Résistance à la base du pieu  $d_g$  en  $\text{kg/cm}^2$

Résistance à la pointe  $C_{k,d}$  en  $\text{kg/cm}^2$  (2<sup>e</sup> lecture)

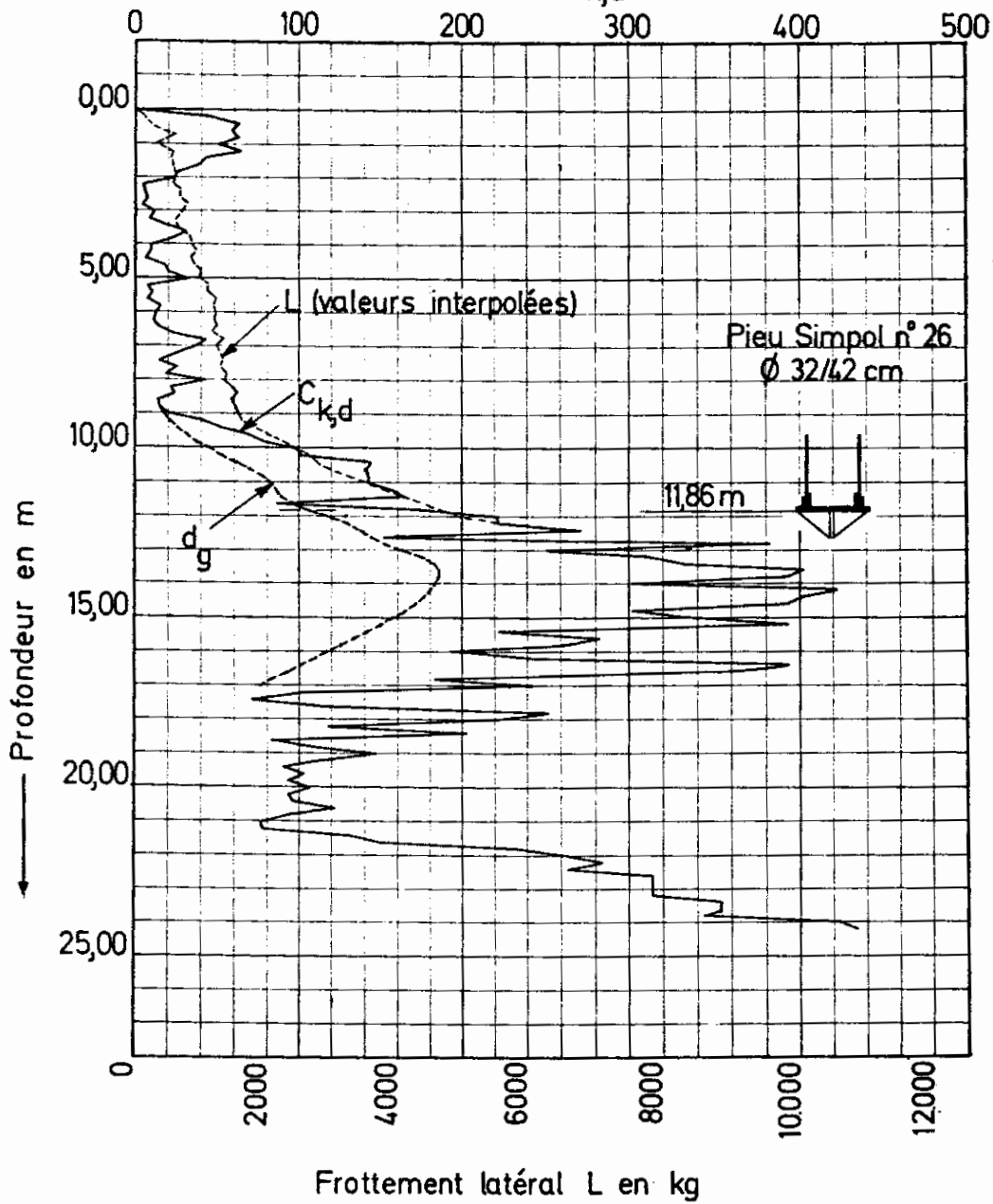
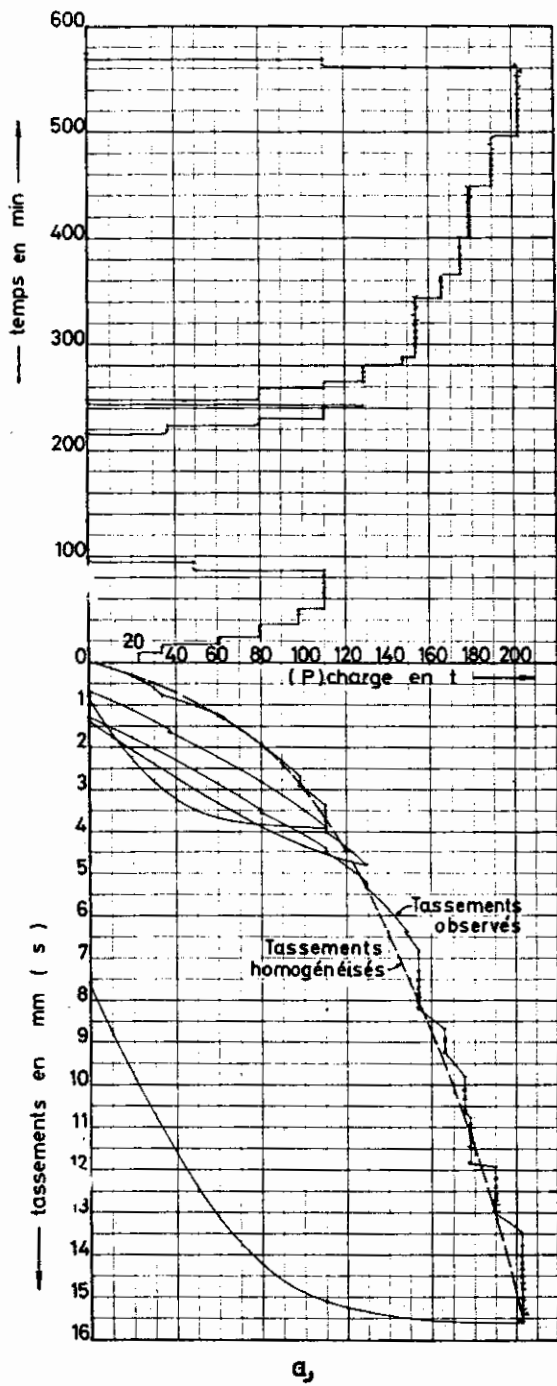


Fig. 51.



ANVERS

Pieu Simpol  
 $\phi$  42 / 50 cm

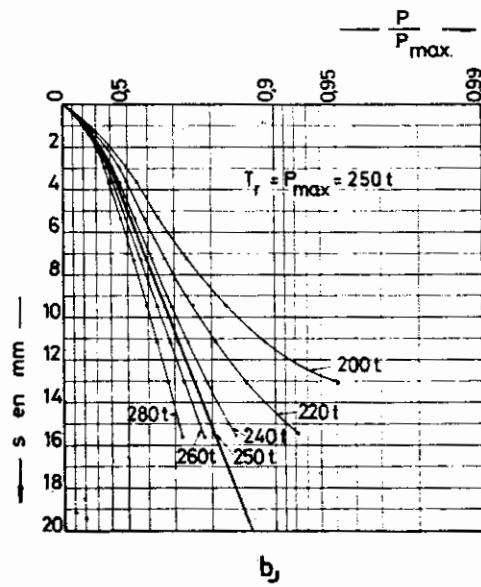


Fig. 52.

ESSAI DE PENETRATION LXXXVI à ANVERS.

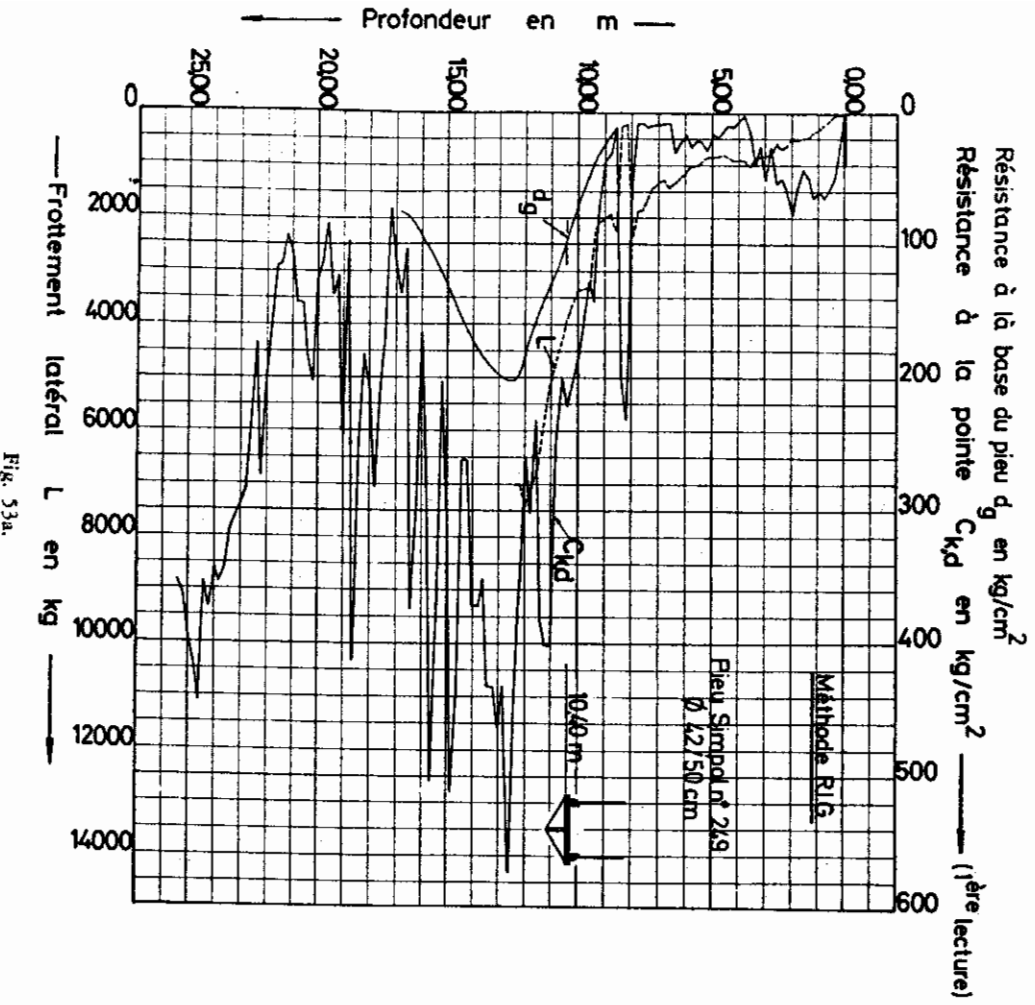


Fig. 53a.

ESSAI DE PENETRATION LXXXVI à ANVERS.

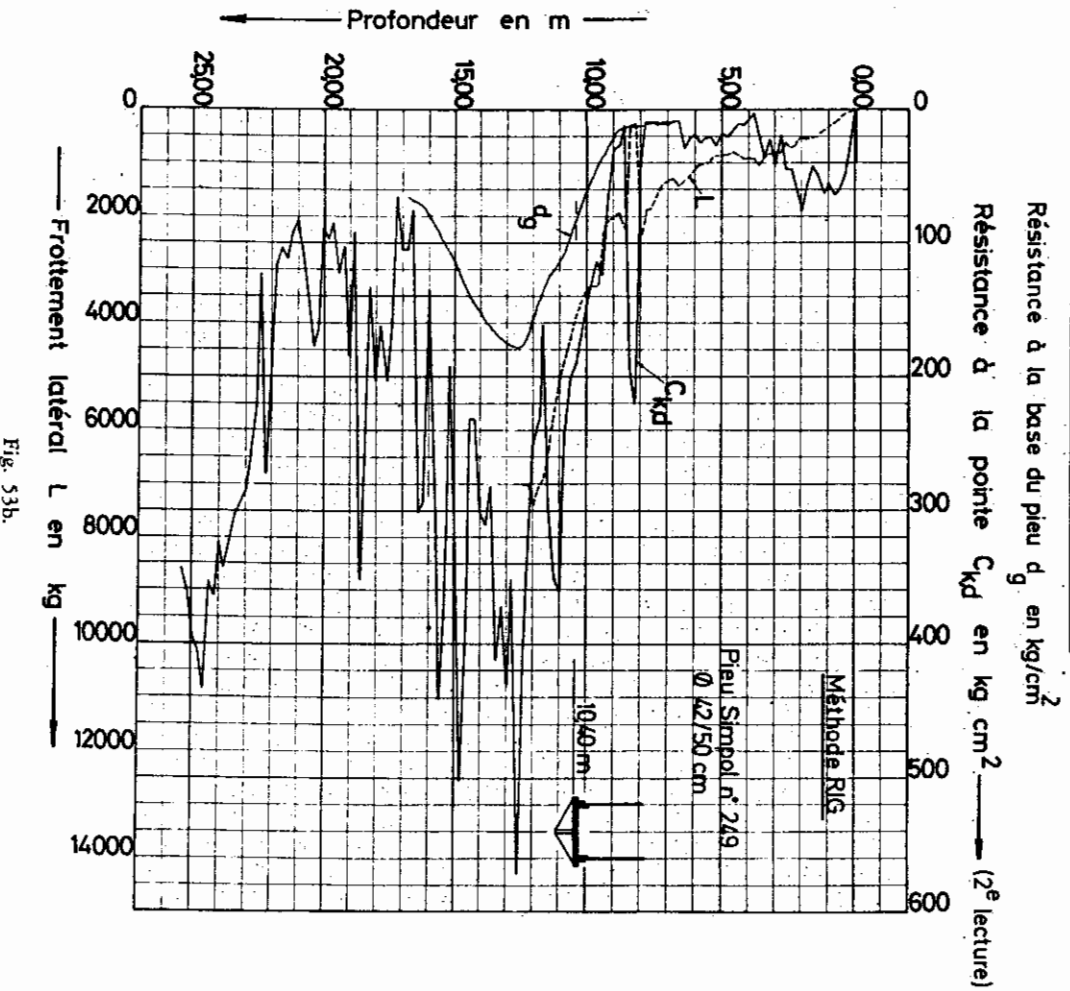


Fig. 53b.

### ESSAI DE PENETRATION CIX à ANVERS

Résistance à la base du pieu  $d_g$  en  $\text{kg/cm}^2$

Résistance à la pointe  $C_{k,d}$  en  $\text{kg/cm}^2$  ( 2<sup>e</sup> lecture )

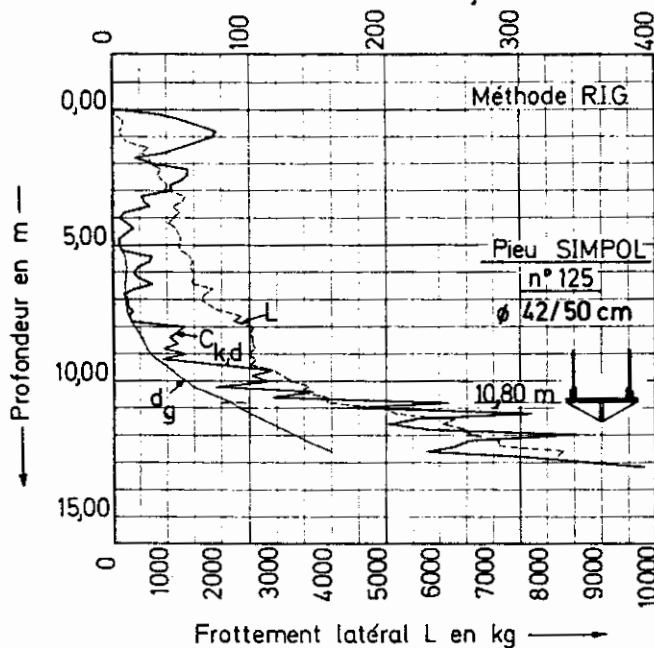


Fig. 55.

### ESSAI DE PENETRATION I à COURTRAI

Résistance à la base du pieu  $d_g$  en  $\text{kg/cm}^2$

Résistance à la pointe  $C_{k,d}$  en  $\text{kg/cm}^2$  ( 2<sup>e</sup> lecture )

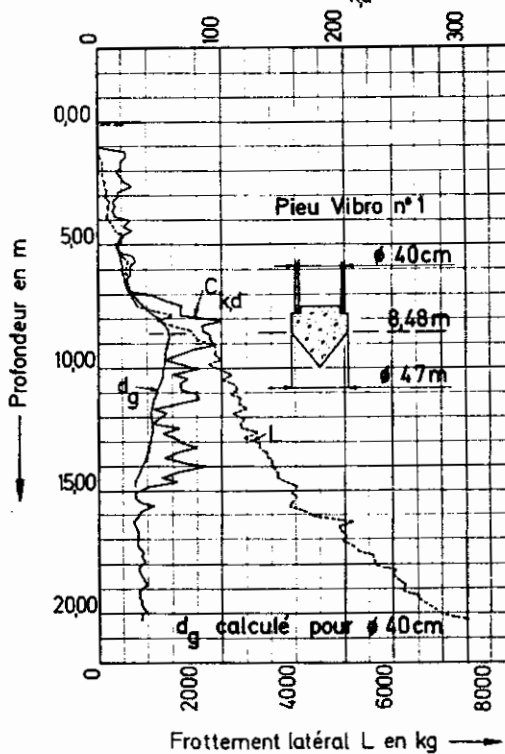


Fig. 56.

ANVERS  
Pieu Simpol n° 125  
 $\phi$  42/50 cm

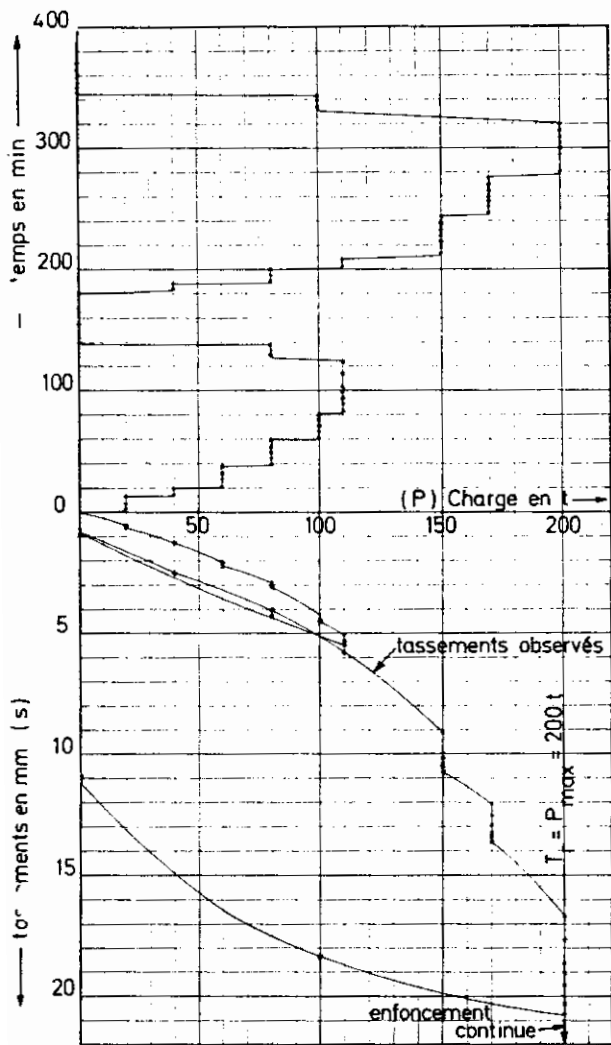


Fig. 54.

ESSAI DE PENETRATION XXX à ANVERS

Résistance à la base du pieu  $d_g$  en  $\text{kg/cm}^2$  →

Résistance à la pointe  $C_{kd}$  en  $\text{kg/cm}^2$  (2<sup>e</sup> lecture) →

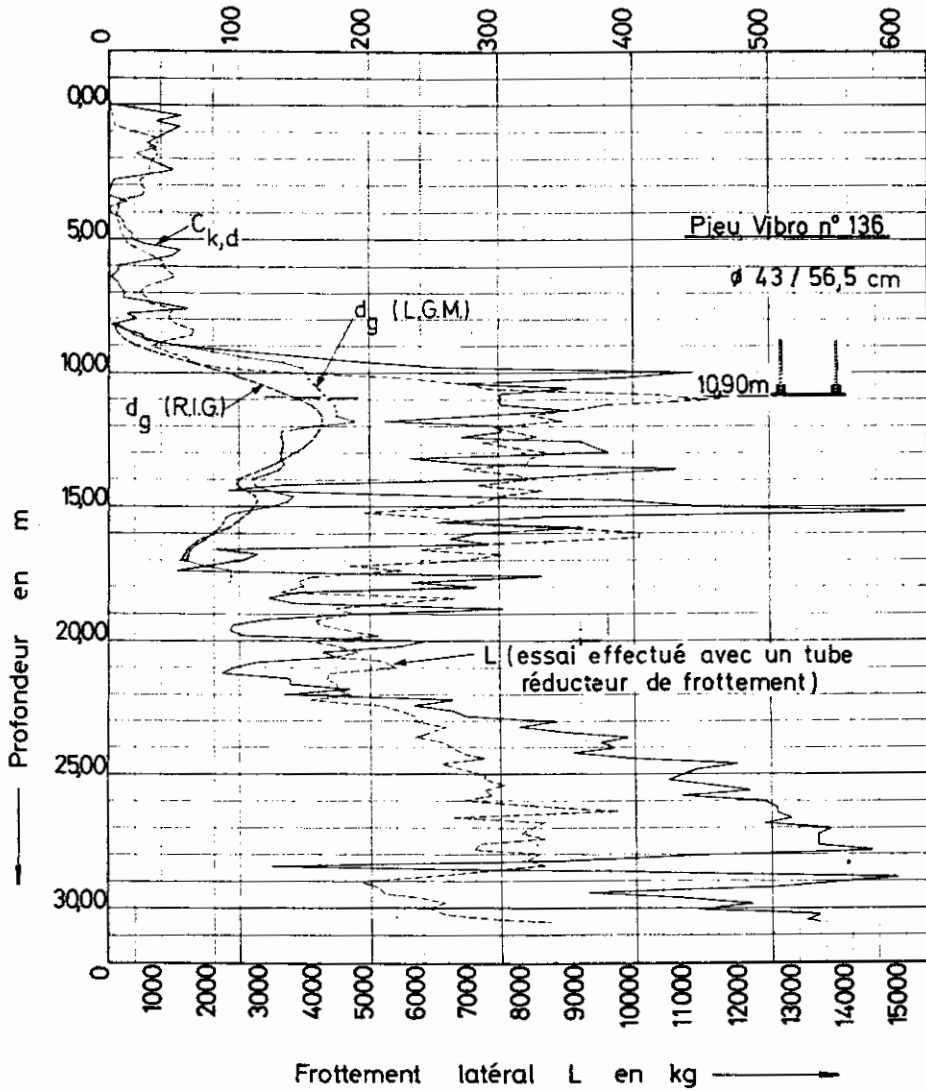


Fig. 57.

TABLEAU XX. — COURTRAI. — E de pénétration I.

1	2	3	4	calculées avec $D = 0,47 \text{ m}$				calculées avec $D_f = 0,40 \text{ m}$		
Profondeur $h$	$C_{k,d}$ (2 <sup>e</sup> lecture)	$P_b$ ( $\gamma_k = 16 \text{ t/m}^3$ resp. $10 \text{ t/m}^3$ )	$\varphi, \varphi'$	$d_g^{(1)}$	$d_{g,j+1}$	$d_{g,q+1}$	$d_g$	$d_{g,j+1}$	$d_{g,q+1}$	$d_g$
				Form. (62)	Form. (120)	Form. (81)	valeurs homogénéisées	Form. (120)	Form. (81)	valeurs homogénéisées
m	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	degré	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
5,00	14,7	6,80	14°	14,7	14,7	14,7	15,43	14,7	14,7	15,51
5,20	17,0	7,00	15°	17,0	15,10	15,10	16,53	15,13	15,13	16,73
5,40	28,5	7,20	20°	28,5	16,50	16,50	17,80	16,70	16,70	18,14
5,60	30,8	7,40	20° 30'	30,8	17,98	17,98	18,91	18,35	18,35	19,34
5,80	26,2	7,60	19° 30'	26,2	18,93	18,93	19,79	19,37	19,37	20,28
6,00	26,4	7,80	18° 30'	26,4	19,82	19,82	20,47	20,31	20,31	20,98
6,20	26,4	8,00	18°	26,4	20,63	20,63	21,03	21,16	21,16	21,53
6,40	21,8	8,20	16°	21,8	20,97	20,97	21,53	21,46	21,46	22,02
6,60	24,1	8,40	17°	24,1	21,48	21,48	22,65	21,96	21,96	23,22
6,80	26,4	8,60	16° 30'	26,4	22,14	22,14	24,58	22,64	22,64	25,35
7,00	44,4	8,80	21°	44,4	24,32	24,32	27,59	25,06	25,06	28,42
7,20	55,4	9,00	24° 30'	55,4	27,27	27,27	31,07	28,36	28,36	32,52
7,40	63,2	9,20	25° 30'	63,2	31,18	31,18	34,49	32,73	32,73	36,34
7,60	66,9	9,40	25° 30'	66,9	34,58	34,58	38,63	36,46	36,46	40,83



7,80	66,9	9,60	27°	66,9	37,71	37,71	42,94	39,84	39,84	45,60
8,00	101,8	9,80	29°	101,8	43,59	43,59	47,40	46,37	46,37	50,45
8,20	84,5	10,00	28°	84,5	47,57	47,57	51,21	50,58	50,58	54,47
8,40	84,5	10,20	29°	84,5	51,11	51,11	54,02	54,39	54,39	57,70
8,60	91,4	10,40	27°	91,4	55,01	55,01	55,56	58,53	58,45	58,32
8,80	91,4	10,60	28°	91,4	58,60	55,94	55,61	62,28	58,44	57,92
9,00	96,1	10,80	28° 30'	96,1	62,30	55,72	55,11	66,14	58,06	57,18
9,20	77,6	11,00	27° 30'	77,6	64,19	55,17	54,39	67,82	57,26	56,20
9,40	67,2	11,20	25° 30'	67,2	64,92	54,43	53,79	67,20	56,22	55,47
9,60	55,7	11,40	23° 30'	55,7	55,70	53,56	53,37	55,70	55,13	54,98
9,80	77,6	11,60	24° 30'	77,6	58,00	53,38	52,92	58,29	55,07	54,65
10,00	82,3	11,80	25°	82,3	60,57	53,00	52,37	61,09	54,75	54,09
10,20	60,4	12,00	22°	60,4	60,40	52,38	51,66	61,49	54,12	53,31
10,40	73,1	12,20	24°	73,1	61,93	51,72	50,82	63,08	53,39	52,37
10,60	67,3	12,40	24°	67,3	62,85	50,87	49,83	63,96	52,43	51,23
10,80	67,3	12,60	23° 30'	67,3	63,69	49,88	48,66	64,75	51,29	49,86
11,00	80,3	12,80	24°	80,3	65,55	48,74	47,26	66,73	49,96	48,18
11,20	82,5	13,00	24° 30'	82,5	67,44	47,35	45,63	68,73	48,30	46,25
11,40	67,5	13,20	23° 30'	67,5	67,50	45,68	44,43	67,50	46,28	44,83
11,60	45,6	13,40	24°	45,6	45,60	43,87	43,69	45,60	44,18	43,39

11,80	56,0	13,60	20°	56,0	46,78	43,73	43,46	46,91	44,44	43,73
12,00	49,2	13,80	19°	49,2	47,30	43,48	43,26	47,44	43,76	43,95
12,20	43,4	14,00	20°	43,4	43,40	43,16	43,08	43,40	43,40	44,22
12,40	67,6	14,20	23°	67,6	45,70	43,14	42,90	46,01	44,70	44,54
12,60	51,7	14,40	21°	51,6	45,48	42,93	42,58	46,24	44,57	44,27
12,80	63,0	14,60	21°	63,0	48,15	42,64	42,71	48,69	44,34	43,83
13,00	67,8	14,80	21°	67,8	50,08	42,18	41,43	50,83	43,97	43,10
13,20	80,5	15,00	23°30'	80,5	52,91	41,52	40,52	53,99	43,23	42,09
13,40	63,2	15,20	21°	63,2	54,08	40,58	39,50	55,20	44,17	40,95
13,60	51,7	15,40	18°30'	51,7	51,70	39,46	38,38	51,70	40,88	39,71
13,80	67,8	15,60	22°30'	67,8	53,34	38,45	37,10	53,55	39,81	38,29
14,00	87,6	15,80	24°	87,6	56,48	37,22	35,55	57,12	38,45	36,57
14,20	63,3	16,00	20°	63,3	57,37	35,62	33,92	58,04	36,60	34,62
14,40	51,8	16,20	18°30'	51,8	51,80	33,82	32,25	51,08	34,48	32,65
14,60	65,6	16,40	21°30'	65,6	53,23	32,33	30,94	53,41	32,77	31,13
14,80	39,1	16,60	15°30'	39,1	39,10	30,60	30,13	39,10	30,73	30,18
15,00	29,9	16,80	13°30'	29,9	29,90	29,90		29,90	29,90	
15,20	29,9	17,00	12°	29,9	29,90	29,90		29,90	29,90	

TABLEAU XXI. — ZWIJNDRECHT. — Essai de pénétration VII —  
Base du pieu  $Z = 0,64$  m.

1	2	3	4	5	6	7	8
Profondeur $h$	$C_{k,d}$ (1ère lecture)	$P_b$ ( $\gamma_k = 1,6 \text{ t/m}^3$ resp. $1,0 \text{ t/m}^3$ )	$\varphi, \varphi'$	$d_g^{(1)}$ form. (62)	$d_{g,j+1}$ form. (62)	$d_{g,q+1}$ form. (81)	$d_g$ valeurs homogénéisées
m	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	degrés	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
18,64	10	20,05	0	10	10	10	12,51
18,84	19	20,25	9°	19	11,20	11,20	14,97
19,04	43	20,45	13°30'	43	13,19	13,19	18,16
19,24	59	20,65	17°	59	16,04	16,04	23,21
19,44	71	20,85	18°30'	71	19,45	19,45	28,53
19,64	92	21,05	20°30'	92	23,94	23,94	33,80
19,84	178	21,25	26°	178	33,40	33,40	38,80
20,04	96	21,45	21°	96	37,34	37,34	41,43
20,24	87	21,65	20°	87	40,51	40,51	43,03
20,44	96	21,85	20°30'	96	44,05	43,93	43,74
20,64	89	22,05	20°	89	46,96	43,92	43,45
20,84	96	22,25	20°30'	96	50,13	43,74	42,96
21,04	96	22,45	20°30'	96	53,11	43,36	42,24
21,24	110	22,65	21°	110	56,77	42,78	41,32
21,44	106	22,85	21°	106	59,93	41,95	40,35
21,64	75	23,05	18°	75	61,13	40,88	39,35
21,84	53	23,25	14°30'	53	53	39,67	38,36
22,04	69	23,45	17°	69	54,18	38,88	37,37

22,24	76	23,65	18°	76	55,71	37,97	36,21
22,44	76	23,85	18°	76	57,15	36,91	34,90
22,64	97	24,05	20°	97	59,77	35,70	33,42
22,84	69	24,25	16°30'	69	60,56	34,27	32,02
23,04	67	24,45	16°	67	61,18	32,70	30,95
23,24	46	24,65	12°30'	46	46	31	30,37
23,44	32	24,85	8°	32	32	30,11	30,22
23,64	30	25,05	7°	30	30	30	30,27
23,84	34	25,25	8°	34	30,35	30,35	30,33
24,04	51	25,45	13°	51	31,70	30,41	30,24
24,24	34	25,65	8°	34	31,95	30,33	30,23
24,44	65	25,85	15°30'	65	34,05	30,23	30,36
24,64	30	26,05	7°	30	30	30	30,67
24,84	34	26,25	8°	34	30,35	30,35	31,25
25,04	37	26,45	9°	37	30,86	30,86	32,05
25,24	39	26,65	9°30'	39	31,46	31,46	33,01
25,44	44	26,85	10°30'	44	32,32	32,32	34,16
25,64	51	27,05	12°30'	51	33,55	33,55	35,40
25,84	51	27,25	12°30'	51	34,71	34,71	36,57
26,04	55	27,45	13°	55	36,04	36,04	37,67
26,24	55	27,65	13°	55	37,29	37,29	38,68
26,44	51	27,85	12°	51	38,23	38,23	—
26,64	51	28,05	12°	51	39,12	39,12	—
26,84	53	28,25	12°30'	53	40,08	40,08	—

TABIEAU XXII. — ZWIJNDRECHT. — Essai de pénétration XXIV. — Base du pieu  $\varnothing = 0,80$  m.

1	2	3	4	5	6	7	8
Profondeur $h$	$C_{k,d}$ ( <i>voir Lecture</i> )	$P_b$ ( $\delta_k = 1,6 \text{ t/m}^3$ resp. $10 \text{ t/m}^3$ )	$\varphi, \varphi'$	$d_g^{(1)}$ form. (62)	$d_{g,j+1}$ form. (62)	$d_{g,q+1}$ form. (81)	$d_g$ valeurs homogéné- isées
m	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	degrés	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
15,10	9	15,30	0°	9	9	9	12,92
15,30	43	15,50	16°	43	10,80	10,80	15,55
15,50	43	15,70	16°	43	12,51	12,51	18,71
15,70	51	15,90	18°	51	14,55	14,55	22,26
15,90	75	16,10	21°	75	17,72	17,72	25,84
16,10	103	16,30	23°30'	103	22,17	22,17	29,05
16,30	107	16,50	24°	107	26,61	26,61	31,61
16,50	95	16,70	22°30'	95	30,23	30,23	33,84
16,70	71	16,90	20°30'	71	32,47	32,47	35,69
16,90	55	17,10	18°	55	33,79	33,79	37,48
17,10	53	17,30	17°	53	34,95	34,95	39,40
17,30	87	17,50	21°30'	87	37,77	37,77	41,48
17,50	67	17,70	19°30'	67	39,45	39,45	43,63
17,70	75	17,90	20°30'	75	41,45	41,45	45,95
17,90	75	18,10	20°	75	43,36	43,36	48,26
18,10	79	18,30	20°30'	79	45,38	45,38	50,29
18,30	103	18,50	22°30'	103	48,51	48,51	52,27
18,50	95	18,70	22°	95	51,09	51,09	53,66
18,70	83	18,90	20°30'	83	52,95	52,95	54,54
18,90	59	19,10	17°30'	59	53,52	53,52	55,02
19,10	83	19,30	20°30'	83	55,26	55,26	55,34
19,30	61	19,50	17°30'	61	55,82	55,49	55,25

19,50	91	19,70	21°	91	57,85	55,47	55,04
19,70	103	19,90	22°	103	60,38	55,36	54,74
19,90	80	20,10	19°30'	80	61,64	55,72	54,74
20,10	84	20,30	20°	84	63,04	54,81	55,72
20,30	64	20,50	17°30'	64	63,38	54,42	55,68
20,50	54	20,70	15°30'	54	54,00	54	56,32
20,70	76	20,90	19°	76	55,34	55,34	57,03
20,90	84	21,10	20°	84	57,01	57,01	57,41
21,10	76	21,30	18°30'	76	58,21	57,65	57,39
21,30	84	21,50	19°30'	84	59,75	57,62	57,74
21,50	124	21,70	23°	124	63,19	57,52	56,80
21,70	94	21,90	20°30'	94	64,99	57,25	56,37
21,90	88	22,10	20°	88	66,41	56,89	55,87
22,10	80	22,30	19°	80	67,37	56,44	55,29
22,30	68	22,50	17°	68	67,69	55,92	55,01
22,50	92	22,70	20°	92	67,77	55,37	54,83
22,70	80	22,90	18°30'	80	69,99	54,72	54,75
22,90	54	23,10	14°30'	54	54,0	54,0	54,78
23,10	88	23,30	19°30'	88	55,89	55,06	54,90
23,30	64	23,50	16°	64	56,52	55,02	54,76
23,50	64	23,70	16°	64	57,12	54,95	54,76
23,70	100	23,90	20°30'	100	59,45	54,85	54,47
23,90	72	24,10	17°	72	60,30	54,63	54,53
24,10	92	24,30	19°30'	92	62,09	54,36	55,04
24,30	54	24,50	14°	54	54,0	54,0	55,91
24,50	60	24,70	15°30'	60	54,50	54,50	
24,70	64	24,90	15°30'	64	55,17	55,17	
24,90	92	25,10	19°	92	57,18	57,18	
25,10	84	25,30	18°	84	58,71	58,71	

1	2	3	4	calculées avec $D = 0,565 \text{ m}$				calculées avec $D_2 = 0,43 \text{ m}$			
Profondeur $h$	$C_{k,d}$ (2 <sup>e</sup> lecture)	$P_b$ ( $\rho_k = 1611 \text{ m}^3$ resp. $40 \text{ t/m}^3$ )	$\varphi, \varphi'$	$d_g^{(1)}$	$d_{g,j+1}$	$d_{g,q+1}$	$d_g$	$d_g$	$d_{g,j+1}$	$d_{g,q+1}$	$d_g$
				form. (62)	form. (40)	form. (81)	valeurs ho- mogénéisées	L. G. M.	Form. (120)	Form. (81)	valeurs homogénéisées
m	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	degrés	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
8,20	2,54	8,56	0	2,54	2,54	2,54	3,93	7,90	2,54	2,54	3,93
8,40	12,54	8,76	9° 30'	12,54	3,31	3,31	6,42	13,08	3,51	3,51	5,73
8,60	26,68	8,96	18°	26,68	5,08	5,08	9,96	18,88	5,73	5,73	8,66
8,80	28,68	9,16	19°	28,68	6,88	6,88	15,52	32,32	7,94	7,94	13,76
9,00	53,68	9,36	23°	53,68	10,41	10,41	23,01	54,66	12,30	12,30	22,20
9,20	104,68	9,56	29° 30'	104,68	17,45	17,45	33,63	79,23	21,05	21,05	33,00
9,40	149,68	9,76	30° 30'	149,68	27,33	27,33	46,08	105,61	33,24	33,24	47,43
9,60	191,82	9,96	32°	191,82	36,85	36,85	58,29	133,96	44,71	44,71	63,53
9,80	251,82	10,16	32° 30'	251,82	52,90	52,90	71,08	147,96	64,35	64,35	79,25
10,00	441,82	10,36	35° 30'	441,82	67,24	67,24	82,21	151,50	81,53	81,53	93,05
10,20	391,82	10,56	35° 30'	391,82	76,17	76,17	92,02	153,12	91,86	91,86	104,70
10,40	271,82	10,76	34°	271,82	88,02	88,02	101,78	156,93	105,75	105,75	116,33
10,60	351,96	10,96	34°	351,96	97,42	97,42	111,17	161,13	116,49	116,49	126,58
10,80	301,96	11,16	34°	301,96	106,47	106,47	120,12	164,72	126,74	126,74	137,19
11,00	301,96	11,36	34°	301,96	115,19	115,19	127,83	168,87	136,51	136,51	147,15
11,20	301,96	11,56	33° 30'	301,96	125,53	125,53	134,12	172,81	148,32	148,32	155,17
11,40	351,96	11,76	34°	351,96	133,22	133,22	137,74	174,16	156,62	156,62	160,28
11,60	292,10	11,96	34°	292,10	137,39	137,39	139,26	174,32	160,57	160,57	162,53
11,80	212,10	12,16	32° 30'	212,10	143,80	140,29	139,43	187,76	166,50	163,64	163,13
12,00	302,10	12,36	33° 30'	302,10	151,13	140,05	138,41	156,20	174,42	163,38	162,15
12,20	302,10	12,56	33° 30'	302,10	157,01	138,30	136,77	132,60	180,50	162,37	160,37

12,40	272,10	12,76	32°	272,40	166,21	138,09	134,45	132,32	190,14	160,71	157,63
12,60	362,24	12,96	34°	362,24	175,47	136,17	133,45	133,67	200,40	158,02	153,72
12,80	372,24	13,16	34°	372,24	184,78	133,51	127,80	133,50	210,68	154,15	148,75
13,00	382,24	13,36	35°	382,24	187,92	130,02	123,48	132,23	213,18	148,98	142,83
13,20	232,24	13,56	32° 30'	332,24	192,36	126,08	118,47	132,29	216,36	143,11	135,98
13,40	282,24	13,76	32° 30'	282,24	200,02	121,57	112,69	134,39	223,77	136,41	129,92
13,60	432,38	13,96	34° 30'	432,38	208,61	116,23	106,73	130,96	232,44	128,43	118,48
13,80	372,38	14,16	34°	372,38	213,02	109,98	100,23	124,76	237,33	118,92	109,86
14,00	302,38	14,36	33°	302,38	217,70	102,97	97,78	111,14	234,26	108,10	99,02
14,20	142,38	14,56	28°	142,38	142,38	95,57	97,04	113,03	142,38	96,57	98,17
14,40	92,38	14,76	25°	92,38	92,38	92,38	97,87	121,47	92,38	92,38	104,55
14,60	232,52	14,96	30°	232,52	102,78	100,13	98,88	141,19	105,55	105,55	112,14
14,80	392,52	15,16	33° 30'	392,52	116,34	100,07	97,13	136,56	122,34	115,73	114,39
15,00	442,52	15,36	34°	442,52	135,51	98,90	94,47	123,09	146,04	115,13	111,92
15,20	602,52	15,56	35°	602,52	143,79	96,41	90,95	96,16	155,81	112,37	108,04
15,40	332,52	15,76	33° 30'	332,52	148,76	93,18	86,73	89,92	161,37	108,33	103,06
15,60	252,66	15,96	30° 30'	252,66	156,87	89,40	81,83	87,62	170,41	103,49	96,99
15,80	362,66	16,16	32° 30'	362,66	162,52	84,81	76,17	84,00	176,74	97,37	89,74
16,00	282,66	16,36	32°	282,66	167,21	79,52	69,90	78,82	181,81	90,11	81,23
16,20	262,66	16,56	32° 30'	262,66	172,86	73,55	64,56	74,00	188,07	81,73	71,83
16,40	292,66	16,76	31° 30'	292,66	177,45	66,79	60,25	67,00	184,11	72,07	64,54
16,60	82,80	16,96	29° 30'	82,80	82,80	59,73	57,10	62,11	82,80	61,76	59,68
16,80	114,80	17,16	23° 30'	114,80	85,47	58,16	55,37	61,38	86,10	59,84	57,37
17,00	102,80	17,36	24°	102,80	87,13	56,30		58,68	88,04	57,44	54,96
17,20	74,80	17,56	22°	74,80	74,80	54,20		74,33	74,80	54,64	
17,40	52,80	17,76	17°	52,80	52,80	52,80		93,50	52,80	52,80	



TABLEAU XXIV. — ANVERS. — Essai de pénétration CXXIX. — Base du pieu  $\varnothing = 0,42$  m.

1	2	3	4	5	6	7	8
Profondeur $h$	$C_{k,d}$ (2 <sup>e</sup> lecture)	$P_b$ ( $\rho_k = 1,6 \text{ t/m}^3$ resp. $1,0 \text{ t/m}^3$ )	$\varphi, \varphi'$	$d_g^{(1)}$ form. (62)	$d_{g,j+1}$ form. (60)	$d_{g,q+1}$ form. (61)	$d_g$ valeurs ho- mogénéisées
m	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	degrés	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
6,00	9,14	7,08	8°	9,14	9,14	9,14	9,32
6,20	13,17	7,28	12°	13,17	8,65	8,65	10,59
6,40	23,20	7,48	17° 30'	23,20	10,18	10,18	14,36
6,60	37,22	7,68	21° 30'	37,22	12,95	12,96	20,59
6,80	83,25	7,88	27° 30'	83,25	19,95	19,95	27,37
7,00	109,28	8,08	29° 30'	109,28	28,86	28,86	32,66
7,20	71,31	8,28	26°	71,31	33,29	33,29	34,95
7,40	69,34	8,48	25° 30'	69,34	37,14	35,84	35,65
7,60	55,36	8,68	24°	55,36	39,29	35,72	35,51
7,80	35,39	8,88	20°	35,39	35,39	35,39	35,42
8,00	35,42	9,08	19° 30'	35,42	35,42	35,42	36,19
8,20	35,45	9,28	19° 30'	35,45	35,45	35,45	37,39
8,40	55,48	9,48	23°	55,48	37,71	37,71	39,09
8,60	47,50	9,68	21° 30'	47,50	39,00	39,00	40,26
8,80	51,53	9,88	22°	51,53	40,56	40,56	41,70
9,00	43,56	10,08	20° 30'	43,56	41,22	41,22	43,77
9,20	59,59	10,28	23°	59,59	43,33	43,33	48,17
9,40	75,62	10,48	24° 30'	75,62	46,76	46,76	59,76
9,60	123,64	10,68	28° 30'	123,64	54,42	54,42	62,66
9,80	141,67	10,88	29° 30'	141,67	63,10	63,10	70,99

10,00	135,70	11,08	29°	135,70	70,45	70,45	79,85
10,20	160,00	11,28	0	160,00	79,43	79,43	99,48
10,40	181,76	11,48	30° 30'	181,76	89,66	89,66	101,80
10,60	217,78	11,68	31°	217,78	102,36	102,36	114,49
10,80	211,81	11,88	31°	211,81	113,38	113,38	126,32
11,00	257,84	12,08	32°	257,84	127,73	127,73	136,92
11,20	225,87	12,28	31°	225,87	137,84	137,84	143,30
11,40	205,90	12,48	30° 30'	205,90	145,19	145,19	148,17
11,60	151,92	12,68	29°	151,92	146,87	146,87	150,57
11,80	201,95	12,88	30° 30'	201,95	153,03	152,45	152,30
12,00	175,98	13,08	29° 30'	175,98	156,24	152,40	151,83
12,20	212,00	13,28	30° 30'	212,00	162,49	152,04	150,94
12,40	182,04	13,48	29° 30'	182,04	165,41	151,06	149,54
12,60	202,06	13,68	30°	202,06	169,91	149,72	147,89
12,80	166,09	13,88	29°	166,09	166,09	147,83	150,69
13,00	146,12	14,08	27° 30'	146,12	146,12	146,12	159,12
13,20	266,15	14,28	31°	266,15	158,12	158,12	171,83
13,40	310,18	14,48	32°	310,18	173,12	173,12	184,96
13,60	282,20	14,68	31° 30'	282,20	184,24	184,24	197,15
13,80	316,23	14,88	32°	316,23	197,51	197,51	209,19
14,00	342,26	15,08	32°	342,26	209,70	209,70	220,36
14,20	422,29	15,28	33°	422,29	220,36	220,36	230,53
14,40	402,32	15,48	33°	402,32	231,02	231,02	240,18
14,60	412,34	15,68	32° 30'	412,34	240,22	240,22	
14,80	392,37	15,88	32° 30'	392,37	249,29	249,29	

TABLEAU XXV. — ANVERS. — Essai de pénétration combiné LX + C799/4. — Base du pieu  $\varnothing = 0,42$  m.

1	2	3	4	5	6	7	8
Profondeur $h$	$C_{k,d}$ (2 <sup>e</sup> lecture)	$P_b$ ( $k = 16 t/m^2$ resp. $2,0 t/m^2$ )	$\varphi, \varphi'$	$d_g^{(1)}$ Form (62)	$d_{g,j+1}$ Form (720)	$d_{g,q+1}$ Form (81)	$d_g$ valeurs homogénéisées
m	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	degrés	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
8,60	14	9,56	14° 30'	14	14	14	14,44
8,80	15	9,76	13° 30'	15	14,23	14,23	15,71
9,00	22	9,96	15° 30'	22	15,10	15,10	18,06
9,20	11	10,16	22°	11	17,79	17,79	21,68
9,40	53	10,36	22° 30'	53	21,28	21,28	26,15
9,60	69	10,56	24° 30'	69	25,97	25,97	31,63
9,80	79	10,76	25°	79	31,19	31,19	37,67
10,00	98	10,96	27°	98	37,74	37,74	46,22
10,20	102	11,16	28°	102	44,09	44,09	53,44
10,40	144	11,36	29° 30'	144	53,82	53,82	62,23
10,60	141	11,56	29° 30'	141	62,42	62,42	70,21
10,80	143	11,76	29°	143	70,45	70,45	77,99
11,00	143	11,96	29° 30'	143	77,77	77,77	83,40
11,20	157	12,16	29° 30'	157	85,75	85,75	86,14
11,40	165	12,36	30°	165	93,77	93,77	89,16
11,60	86	12,56	28° 30'	86	86,00	86,00	96,03
11,80	174	12,76	30°	174	94,80	94,80	106,92
12,00	222,10	12,96	31° 30'	222,10	107,29	107,29	119,89
12,20	222,10	13,16	31°	222,10	118,68	118,68	129,88
12,40	272,10	13,36	32°	272,10	133,70	133,70	138,27

12,60	162,24	13,56	32°	162,24	137,25	137,25	144,74
12,80	382,24	13,76	33° 30'	382,24	143,85	143,85	153,30
13,00	252,24	13,96	31° 30'	252,24	153,11	153,11	163,93
13,20	312,20	14,16	33°	312,20	162,93	162,93	175,04
13,40	332,24	14,36	33°	332,24	175,75	175,75	182,84
13,60	402,38	14,56	34°	402,38	187,50	186,43	186,11
13,80	392,38	14,76	34°	392,38	194,30	186,33	185,21
14,00	302,38	14,96	32°	302,38	205,42	185,58	183,32
14,20	422,38	15,16	34°	422,38	216,29	183,72	180,27
14,40	402,38	15,36	33° 30'	402,38	226,18	180,67	176,12
14,60	392,52	15,56	33°	392,52	231,23	176,41	170,91
14,80	302,52	15,76	32° 30'	302,52	237,50	174,27	164,59
15,00	332,52	15,96	32° 30'	332,52	246,39	165,06	157,19
15,20	392,52	16,16	32° 30'	392,52	246,63	157,11	149,57
15,40	222,52	16,36	30° 30'	222,52	222,52	149,08	141,77
15,60	282,66	16,56	31°	282,66	229,24	142,20	133,65
15,80	262,44	16,76	30° 30'	262,44	233,54	134,04	125,70
16,00	192,64	16,96	28° 30'	192,64	192,64	124,72	117,98
16,20	242,66	17,16	30° 30'	242,66	198,23	118,35	110,35
16,40	392,66	17,36	32° 30'	392,66	207,19	110,86	104,56
16,60	362,80	17,56	33°	362,80	207,10	101,83	92,41
16,80	182,80	17,76	30° 30'	182,80	182,80	91,96	82,98
17,00	242,80	17,96	30° 30'	242,80	189,18	83,45	75,93
17,20	102,80	18,16	23°	102,80	102,80	73,54	
17,40	70,80	18,36	21°	70,80	70,80	70,80	

TABLEAU XXVI-a. — ANVERS. — Essai de pénétration LXXXVI. — Base du pieu  $\varnothing = 0,50$  m.

1	2	3	4	5	6	7	8
Profondeur <i>h</i>	$C_{k,d}$ <i>(à lire lecture)</i>	$P_b$ <i>(<math>\frac{kg}{cm^2}</math> resp. <math>\frac{t}{m^2}</math>)</i>	$\varphi, \varphi'$	$d_g^{(1)}$ <i>Form (62)</i>	$d_{g,j+1}$ <i>Form (120)</i>	$d_{g,q+1}$ <i>Form (81)</i>	$d_g$ <i>valeurs homogénéisées</i>
m	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	degrées	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
8,60	12,60	10,28	7°	12,60	12,60	12,60	14,37
8,80	31,63	10,48	17°	31,63	14,25	14,25	17,13
9,00	37,66	10,68	18°30'	37,66	16,27	16,27	22,64
9,20	71,69	10,88	24°	71,69	20,88	20,88	30,16
9,40	141,72	11,08	29°30'	141,72	30,78	30,78	39,42
9,60	127,74	11,28	26°	127,74	38,82	38,82	49,07
9,80	157,77	11,48	29°30'	157,77	48,67	48,67	59,97
10,00	184,80	11,68	30°30'	184,80	59,71	59,71	71,77
10,20	201,83	11,88	30°30'	201,83	71,53	71,53	83,23
10,40	221,86	12,08	31°	221,86	84,07	84,07	94,90
10,60	201,88	12,28	30°30'	201,88	94,09	94,09	106,92
10,80	241,91	12,48	31°30'	241,91	106,55	106,55	119,66
11,00	401,94	12,68	34°	401,94	120,13	120,13	130,00
11,20	401,97	12,88	34°	401,97	132,31	132,31	138,48
11,40	381,99	13,08	33°30'	381,99	137,55	137,55	147,36
11,60	232,02	13,28	31°	232,02	145,58	145,58	157,56
11,80	302,05	13,48	32°	302,05	158,94	158,94	169,79
12,00	262,08	13,68	31°30'	262,08	168,16	168,16	183,50
12,20	352,11	13,88	33°	352,11	182,26	182,26	195,09
12,40	472,14	14,08	34°	472,14	200,07	200,07	207,77

12,60	572,16	14,28	35°	572,16	211,23	202,94	201,97
12,80	432,19	14,48	33°30'	432,19	223,23	202,30	200,37
13,00	462,22	14,68	34°	462,22	233,49	200,68	197,81
13,20	432,25	14,88	33°30'	432,25	243,34	198,13	194,37
13,40	432,28	15,08	33°30'	432,28	249,43	194,62	190,09
13,60	352,30	15,28	32°30'	352,30	256,11	190,37	184,97
13,80	372,33	15,48	32°30'	372,33	262,53	185,27	179,08
14,00	372,36	15,68	32°30'	372,36	264,08	179,28	172,57
14,20	262,39	15,88	30°30'	262,39	262,39	172,70	165,56
14,40	262,42	16,08	30°30'	262,42	262,42	165,74	157,74
14,60	442,44	16,28	33°	442,44	274,34	158,24	148,93
14,80	512,47	16,48	34°	512,47	277,06	149,23	139,09
15,00	302,50	16,68	31°	302,50	275,50	139,31	130,36
15,20	202,53	16,88	29°	202,53	202,53	128,74	122,52
15,40	372,56	17,08	32°	372,56	216,06	123,02	115,52
15,60	502,58	17,28	33°30'	502,58	219,56	115,80	107,61
15,80	272,61	17,48	30°30'	272,61	217,54	107,75	100,36
16,00	166,64	17,68	27°	166,64	166,64	99,28	93,62
16,20	302,67	17,88	30°30'	302,67	178,01	94,05	86,96
16,40	372,70	18,08	31°30'	372,70	193,95	87,54	81,43
16,60	102,72	18,28	22°30'	102,72	102,72	79,29	77,34
16,80	136,75	18,48	25°	136,75	136,75	77,47	75,78
17,00	112,78	18,68	23°30'	112,78	106,92	75,27	
17,20	72,81	18,88	19°30'	72,81	72,81	72,81	

1	2	3	4	5	6	7	8
Profondeur h	$C_{k,d}$ (2e lecture)	$P_b$ ( $h = 10 \frac{100^2}{2000}$ )	$\varphi, \varphi'$	$d_g^{(A)}$ Form (62)	$d_{g,j+1}$ Form (100)	$d_{g,q+1}$ Form (81)	$d_g$ valeurs homogénéisées
m	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	degrés	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
5,00	9,4	9,48	5°30'	9,4	9,4	9,4	9,52
7,00	10,4	9,68	7°	10,4	9,58	9,58	9,58
7,20	10,4	9,88	7°	10,4	9,75	9,58	9,56
7,40	11,4	9,08	8°	11,4	9,99	9,57	9,55
7,60	9,54	9,28	4°30'	9,54	9,54	9,54	10,36
7,80	9,54	9,48	4°30'	9,54	9,54	9,54	11,46
8,00	38,54	9,68	22°	38,54	12,0	12,0	12,38
8,20	221,54	9,88	32°30'	221,54	29,26	12,85	12,27
8,40	191,54	10,08	31°30'	191,54	20,06	12,28	12,32
8,60	11,68	19,28	7°	11,68	11,68	11,68	13,07
8,80	26,68	19,48	17°	26,68	13,0	13,0	15,47
9,00	30,68	19,68	18°30'	30,68	14,54	14,54	29,32
9,20	66,68	19,88	24°	66,68	18,87	18,87	27,09
9,40	124,68	11,08	29°30'	124,68	27,54	27,54	35,0
9,60	115,82	11,28	28°	115,82	34,86	34,86	42,93
9,80	127,82	11,48	29°30'	127,82	42,59	42,59	51,64
10,00	147,82	11,68	30°30'	147,82	51,35	51,35	61,41
10,20	166,82	11,88	30°30'	166,82	60,98	60,98	71,89
10,40	191,82	12,08	31°	191,82	71,89	71,89	83,40
10,60	201,96	12,28	30°30'	201,96	82,79	82,79	95,22
10,80	241,96	12,48	31°30'	241,96	95,53	95,53	106,46
11,00	361,96	12,68	34°	361,96	107,34	107,34	114,39
11,20	351,96	12,88	34°	351,96	116,52	116,52	119,79
11,40	301,96	13,08	33°30'	301,96	119,31	119,31	125,27

11,60	162,10	13,28	31°	162,10	123,53	123,53	133,25
11,80	232,10	13,48	32°	232,10	132,96	132,96	144,11
12,00	252,10	13,68	31°30'	252,10	143,26	143,26	158,08
12,20	332,10	13,88	33°	332,10	156,12	156,12	169,34
12,40	422,10	14,08	34°	422,10	174,87	174,87	189,14
12,60	572,24	14,28	35°	572,24	183,54	173,76	178,08
12,80	352,24	14,48	33°30'	352,24	195,26	179,39	176,82
13,00	432,24	14,68	34°	432,24	203,98	177,08	174,68
13,20	372,24	14,88	33°30'	372,24	214,05	174,99	171,77
13,40	412,24	15,08	33°30'	412,24	218,25	171,96	168,14
13,60	282,38	15,28	32°30'	282,38	223,54	168,57	163,86
13,80	312,38	15,48	32°30'	312,38	228,79	164,09	158,95
14,00	302,38	15,68	32°30'	302,38	229,72	159,12	153,46
14,20	232,38	15,88	30°30'	232,38	231,17	153,64	147,44
14,40	232,38	16,08	30°30'	232,38	232,38	147,63	140,56
14,60	412,52	16,28	33°	412,52	244,97	141,05	132,68
14,80	502,52	16,48	34°	502,52	249,75	132,99	123,80
15,00	302,52	16,68	31°	302,52	247,80	124,01	115,59
15,20	192,52	16,88	29°	192,52	192,52	114,41	107,90
15,40	372,52	17,08	32°	372,52	203,97	108,35	109,66
15,60	442,66	17,28	33°30'	442,66	207,08	100,93	92,53
15,80	252,66	17,48	30°30'	252,66	205,26	92,70	85,52
16,00	136,66	17,68	27°	136,66	136,66	83,97	79,44
16,20	292,66	17,88	30°30'	292,66	149,42	79,88	74,82
16,40	302,66	18,08	31°30'	302,66	162,01	74,48	69,72
16,60	76,80	18,28	22°30'	76,80	76,80	67,69	66,90
16,80	104,80	18,48	25°	104,80	79,34	66,98	65,93
17,00	104,80	18,68	23°30'	104,80	81,73	66,02	
17,20	64,80	18,88	19°30'	64,80	64,80	64,80	

TABLEAU XXVII. — ANVERS. — Essai de pénétration C IX. — Base du pieu  $\varnothing = 0,50$  m.

1	2	3	4	5	6	7	8
profondeur $h$	$C_{k,d}$ (2 <sup>e</sup> lecture)	$P_b$ ( $\rho_k = 1,6t/m^3$ resp $10 H/m^2$ )	$\varphi, \varphi'$	$d_g^{(1)}$ form. (62)	$d_{g,j+1}$ form. (62)	$d_{g,q+1}$ form. (61)	$d_g$ valeurs ho- mogénéisées
$m$	$kg/cm^2$	$t/m^2$	degrés	$kg/cm^2$	$kg/cm^2$	$kg/cm^2$	$kg/cm^2$
5,00	5,00	7,04	0	5,00	5,00	5,00	5,85
5,20	7,03	7,24	4°30'	7,03	5,24	5,24	7,21
5,40	29,06	7,44	19°30'	29,06	7,32	7,32	8,80
5,60	27,08	7,64	18°30'	27,08	9,08	9,08	9,68
5,80	19,11	7,84	15°	19,11	10,03	10,03	9,97
6,00	15,14	8,04	12°	15,14	10,57	10,57	9,91
6,20	19,17	8,24	14°30'	19,17	11,11	11,11	9,77
6,40	29,20	8,44	18°30'	29,20	13,02	13,02	9,54
6,60	17,22	8,64	13°	17,22	13,51	13,51	9,45
6,80	9,25	8,84	4°30'	9,25	9,25	9,25	9,52
7,00	11,28	9,04	7°	11,28	9,53	9,53	9,87
7,20	11,31	9,24	7°	11,31	9,77	9,77	10,25
7,40	15,34	9,44	10°30'	15,34	10,32	10,32	10,72
7,60	13,36	9,64	9°	13,36	10,67	10,67	12,18
7,80	15,39	9,84	10°30'	15,39	11,16	11,16	14,45
8,00	53,42	10,04	22°	53,42	14,70	14,70	17,31
8,20	47,45	10,24	21°	47,45	17,49	17,49	19,80
8,40	43,48	10,44	20°30'	43,48	19,75	19,75	21,84



8,60	47,50	10,64	21°	47,50	22,17	22,17	23,99
8,80	37,53	10,84	18°30'	37,53	23,60	23,60	25,72
9,00	53,56	11,04	21°30'	53,56	26,21	26,21	28,49
9,20	37,59	11,24	18°	37,59	27,34	27,34	32,71
9,40	81,62	11,44	24°30'	81,62	31,92	31,92	38,33
9,60	115,64	11,64	27°	115,64	38,88	38,88	44,39
9,80	101,67	11,84	26°	101,67	44,20	44,20	48,93
10,00	113,70	12,04	27°	113,70	50,09	50,09	54,31
10,20	75,73	12,24	23°30'	75,73	52,51	52,51	59,39
10,40	145,76	12,44	28°30'	145,76	60,32	60,32	68,59
10,60	117,78	12,64	26°30'	117,78	65,33	65,33	77,80
10,80	245,81	12,84	31°30'	245,81	80,11	80,11	87,46
11,00	171,84	13,04	29°30'	171,84	87,95	87,95	93,96
11,20	305,87	13,24	32°30'	305,87	94,33	94,33	100,76
11,40	221,90	13,44	30°30'	221,90	99,60	99,60	108,92
11,60	201,92	13,64	30°	201,92	108,35	108,35	117,63
11,80	231,95	13,84	30°30'	231,95	118,82	118,82	125,48
12,00	341,98	14,04	32°30'	341,98	125,71	125,71	133,23
12,20	262,01	14,24	31°	262,01	131,90	131,90	141,35
12,40	252,04	14,44	31°	252,04	142,09	142,09	150,56
12,60	232,06	14,64	30°30'	232,06	150,05	150,05	159,97
12,80	302,09	14,84	31°30'	302,09	159,53	159,53	
13,00	352,12	15,04	32°30'	352,12	170,32	170,32	
13,20	392,15	15,24	33°	392,15			

On arrive dès lors à la conclusion que pour les pieux Vibro à base élargie le calcul doit se faire en partant de la 2<sup>e</sup> lecture et en n'introduisant que la surface du fût.

On devrait en conclure qu'au cas d'un pieu Vibro, du point de vue de la capacité portante, l'élargissement de la base est plus nuisible qu'utile. En effet si le pieu Vibro était terminé par une base de même diamètre que le fût, on pourrait baser les calculs sur la première lecture. Il y aurait certes intérêt à clarifier cette question par des essais systématiques en vraie grandeur sur des pieux Vibro.

2°) Les pieux Simpol sont aussi des pieux battus avec une base, constituée d'une plaque en acier débordant du fourreau. Après avoir atteint le niveau désiré, le fourreau est rempli de béton, mais celui-ci est maintenant vibré au moyen d'un vibreur introduit à l'intérieur du béton. On peut espérer de ce fait un serrage plus poussé qu'avec le système Vibro.

Les calculs ont été effectués avec la 2<sup>e</sup> lecture du cône. On trouve pour le rapport des valeurs calculées aux valeurs mesurées des valeurs variant entre 0,81 et 1,20. La dispersion est assez considérable mais peut assez facilement s'expliquer

par les fluctuations du degré de serrage réalisé. Si celui-ci est fort réussi le calcul pourrait être basé sur la première lecture; c'est ce qui a été illustré pour le pieu Simpol 249, pour lequel les calculs ont été faits successivement à partir des premières et des deuxièmes lectures. On constate que pour ce pieu le calcul avec la première lecture fournit une meilleure correspondance (0,92) que celui avec la deuxième lecture (0,81).

Par contre lorsque le serrage est moins bien réussi, on ne parvient pas à tirer un plein profit de l'élargissement de la base, et on trouve une valeur calculée supérieure à la valeur mesurée.

En tout cas il apparaît que le serrage du pieu Simpol est plus efficace que celui du pieu Vibro. Il semble bien que pour le système Simpol on puisse utiliser la méthode de calcul décrite, en introduisant la surface de la base, pour autant que l'on se base sur les deuxièmes lectures.

3°) Les pieux Franki sont battus sans base élargie. Lorsque le niveau désiré est atteint, celle-ci est réalisée par introduction d'un volume de béton sous très haute énergie. On peut dès lors certainement faire les calculs à partir de la première lecture et en se basant sur la surface de la base élargie. Ce faisant on trouve pour le rapport de la valeur calculée à la valeur mesurée les valeurs 0,96 et 1,08, ce qui peut être considéré comme constituant une correspondance très satisfaisante.

### VIII. ESSAI A GRANDE ECHELLE DE ROTTERDAM

Plantema [15] a publié les résultats d'un essai de pénétration effectué avec un pieu  $D = 42,6$  cm dans du sable de compacité moyenne.

La résistance à la base a été mesurée sur l'élément terminal représenté à la figure 58. On constate que cet élément a une hauteur de 1,00 m et que pour l'enfoncer, il faut donc aussi vaincre un certain frottement latéral.

A la figure 59 la courbe E représente les valeurs expérimentales de  $d_g$  telles qu'elles sont fournies par Plantema, et la courbe  $C_{k,d}$  renseigne les résistances mesurées avec un cône  $\varnothing 3,6$  cm.

Nous estimons devoir corriger légèrement la courbe E de Plantema, en soustrayant le frottement latéral éprouvé par l'élément terminal. Comme nous ne disposons pas du diagramme de frottement latéral, nous admettrons que dans le sable de compacité médiocre le frottement latéral est de l'ordre de  $4,5 \text{ t/m}^2$ , et dans le sable de forte compacité trouvé à partir de 24,20 m de profondeur de l'ordre de  $9 \text{ t/m}^2$ .

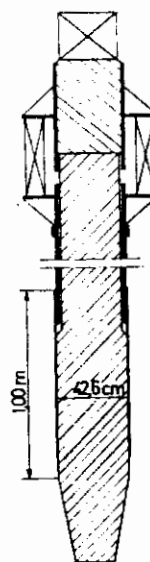


Fig. 58.  
ROTTERDAM.

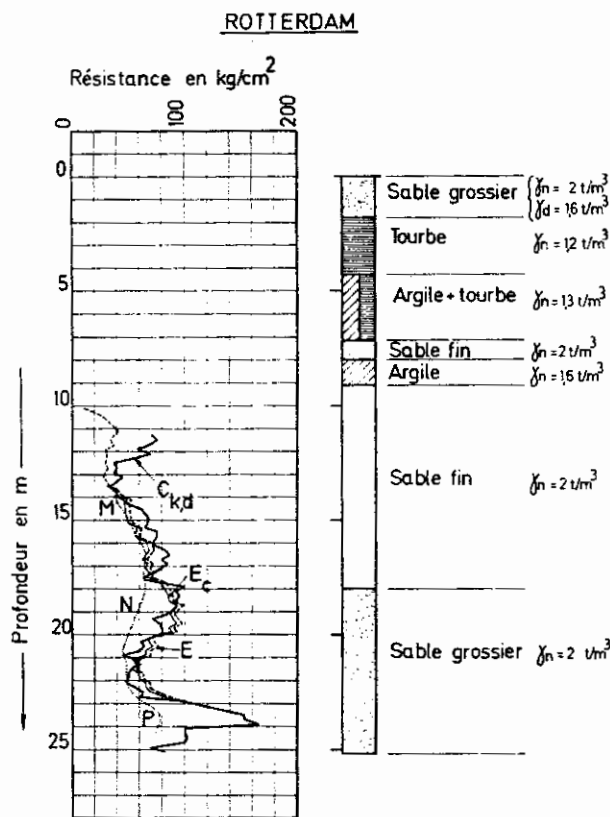


Fig. 59.

La surface latérale de l'élément terminal vaut:

$$\Omega_L = 1 \text{ m} \times \pi \times 0,426 = 1,34 \text{ m}^2,$$

d'où:

dans le sable de compacité médiocre:

$$F = 1,34 \times 4,5 = 6,03 \text{ t},$$

ans le sable compact:  
 $= 1,34 \times 9 = 12,06 t.$

La section de l'élément terminal vaut:

$$A = \frac{\pi \times 0,426^2}{4} = 0,143 m^2.$$

La résistance de frottement latéral sur l'élément terminal, correspond à une charge unitaire sur la base

$$d_g = \frac{6,03}{0,143} = 42,2 t/m^2 = 4 kg/cm^2,$$

pour le sable de compacité médiocre, et de:

$$d_g = 8 kg/cm^2,$$

pour le sable compact.

Nous estimons devoir retrancher ces valeurs  $\Delta d_g$  des valeurs  $d_g$  renseignées par Plantema. Nous obtenons ainsi la courbe expérimentale corrigée  $E_c$ .

D'autre part à partir des valeurs  $C_{k,d}$  mesurées nous pouvons par la méthode R.I.G. calculer les valeurs de  $d_g$ , si on introduit certaines hypothèses sur le calcul de  $p_b$ .

On a admis que la nappe phréatique se trouve à 10 m sous la surface du sol, et que l'on a les poids spécifiques renseignés à la figure 59. Les calculs de  $d_g$  par la méthode R.I.G. sont détaillés au tableau XXVIII. Les valeurs calculées de  $d_g$  sont représentées par la courbe MNP de la figure 59.

On constate que les valeurs calculées sont égales ou inférieures aux valeurs expérimentales. C'est surtout aux profondeurs qui sont affectées par des couches moins résistantes sous-jacentes, que la différence entre les valeurs calculées et expérimentales est assez considérable. A la figure 60 nous avons dessiné les courbes  $d_{g,i+1}$  (colonne 6 du tableau XXVIII). On constate que ces valeurs correspondent très bien aux valeurs expérimentales de la courbe  $E_c$ .

L'introduction des valeurs montantes  $d_{g,q+1}$  introduit la différence entre le calcul et l'observation. Nous estimons toutefois que si on veut garder la méthode applicable avec sécurité en tous terrains, l'attention exige de maintenir l'estimation de l'indice des inclusions moins résistantes sur des points arrêtés au-dessus de ces inclusions.

En titre de comparaison on a aussi appliqué la méthode L.G.M. Les valeurs de  $d_g$  obtenues par cette méthode sont données à la colonne 11 du tableau XXVIII, et représentées par la courbe S.U.T. de la figure 60. Les valeurs de la méthode L.G.M. sont ici les mêmes que celles obtenues avec la méthode R.I.G.

## ROTTERDAM

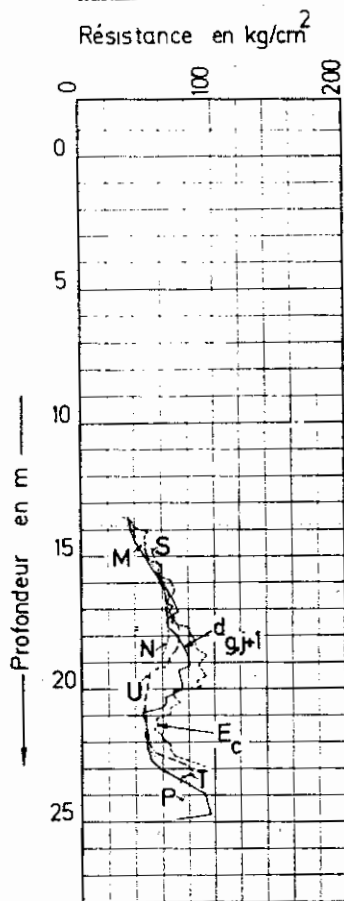


Fig. 60.

## IX. APPLICATION DE LA METHODE R.I.G. A QUELQUES PROFILS DE SOLS CARACTERISTIQUES

Afin de se rendre compte comment varient les valeurs de  $d_g$  pour quelques profils de sol caractéristiques, la méthode a été appliquée aux cas suivants:

### a. Sable de forte compacité à partir de la surface essai de pénétration II à Oud-Turnhout.

A la figure 61 sont dessinés les diagrammes  $C_{k,d}$  et L de l'essai de pénétration II effectué à Oud-Turnhout. A partir de la surface on rencontre une couche de sable de forte compacité.

On a calculé la valeur de  $d_g$  pour un pieu battu  $\varnothing 0,40 m$ . Les détails des calculs sont donnés au tableau XXIX tandis que la courbe  $d_g$  se trouve à la figure 61. Pour un pieu  $\varnothing 0,40 m$  on trouve à partir de 3,20 m de profondeur des valeurs  $d_g > 100 kg/cm^2$ .

R.I.G.								L.G.M		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Profon- deur <i>h</i>	$C_{k,d}$	$P_b$	$\varphi, \varphi'$	$d_g^{(1)}$ <i>form. (62)</i>	$d_{g,j+1}$ <i>form. (120)</i>	$d_{g,q+1}$ <i>form. (81)</i>	$d_g$ valeurs homogénéi- sées <i>(courbe MNP)</i>	$d_g$ <i>(courbe E)</i>	$d_g$ corrigé <i>(courbe E<sub>c</sub>)</i>	$d_g$ <i>(courbe S.UZ)</i>
<i>m</i>	$kg/cm^2$	$t/m^2$	degrés	$kg/cm^2$	$kg/cm^2$	$kg/cm^2$	$kg/cm^2$	$kg/cm^2$	$kg/cm^2$	$kg/cm^2$
13,50	35	9,73	21°	35	35	35	35,8	35	31	
13,70	41	9,93	20°	41	35,9	35,9	36,7	42	38	
13,90	40	10,13	20°	40	36,6	36,6	37,8	44	40	
14,10	45	10,33	20° 30'	45	37,7	37,7	39,5	54	50	
14,30	50	10,53	21° 30'	50	39,2	39,2	41,7	51	47	
14,50	62	10,73	23°	62	41,7	41,7	44,2	52	48	
14,70	65	10,93	23° 30'	65	44,2	44,2	46,7	52	48	52,77
14,90	68	11,13	23° 30'	68	46,8	46,8	49,0	53	49	53,71
15,10	68	11,33	23° 30'	68	49,1	49,1	51,3	54	50	55,41
15,30	65	11,53	22° 30'	65	51	51	53,6	63	59	58,19
15,50	76	11,73	24°	76	53,7	53,7	56	62	58	60,29
15,70	76	11,93	24°	76	56,2	56,2	58,1	61	57	58,86
15,90	73	12,13	23° 30'	73	58,1	58,1	60,8	70	66	59,75
16,10	73	12,33	23°	73	59,9	59,9	63,3	72	68	61,11

16,30	83	12,53	24°	83	64,5	64,5	65,2	73	69	61,95
16,50	87	12,73	24°30'	87	67	65,6	65,4	70	66	62,49
16,70	80	12,93	23°30'	80	68,7	65,5	65,7	67	63	62,98
16,90	85	13,13	24°	85	70,7	65,2	64,6	72	68	63,35
17,10	80	13,33	23°30'	80	72	64,7	64,2	70	66	63,04
17,30	65	13,53	21°30'	65	65	64	63,9	73	69	64,68
17,50	64	13,73	21°30'	64	64	63,9	64,5	71	67	70,75
17,70	80	13,93	23°	80	63,9	63,9	65,0	84	80	72,45
17,90	100	14,13	24°30'	100	69,4	65,7	65,3	85	81	72,44
18,10	92	14,33	24°	92	71,9	65,4	64,7	88	84	72,15
18,30	95	14,53	24°	95	74,5	64,8	63,8	89	85	71,97
18,50	93	14,73	23°30'	93	76,6	63,9	62,6	90	86	71,24
18,70	93	14,93	23°30'	93	78,6	62,7	61,1	98	94	66,24
18,90	90	15,13	23°30'	90	80,7	61,2	59,4	94	90	65,35
19,10	84	15,33	22°30'	84	80,9	59,5	57,7	92	88	63,06
19,30	72	15,53	21°	72	72	57,5	56,1	94	90	57,01
19,50	77	15,73	21°30'	77	72,9	56,1	54,5	97	93	50,27
19,70	80	15,93	22°	80	73,9	54,6	52,7	90	86	49,60
19,90	80	16,13	22°	80	74,9	52,8	50,8	93	89	48,83
20,10	71	16,33	20°30'	71	71	50,7	49,1	72	68	48,08
20,30	62	16,53	19°30'	62	62	48,9	47,6	73	69	47,56
20,50	64	16,73	19°30'	64	62,5	47,6	46,3	77	73	47,13
20,70	60	16,93	19°30'	60	60	46,3	45,8	70	65	46,81

20,90	45	17,73	18°30'	45	45	45	46,2	70	66	47,37
21,10	56	17,33	15°30'	56	46,2	46,2	47,3	59	55	47,67
21,30	58	17,53	18°	58	47,5	47,5	48	61	57	47,51
21,50	53	17,73	18°	53	48,3	48,2	48,2	58	54	47,26
21,70	50	17,93	17°	50	48,7	48,2	48,1	63	59	47,19
21,90	50	18,13	16°30'	50	49	48,1	48,4	65	61	48,02
22,10	48	18,33	16°30'	48	48	48	48,2	70	66	50,74
22,30	56	18,53	15°30'	56	49	49	50,4	70	66	53,32
22,50	63	18,73	17°	63	50,5	50,5	52,8	77	69	59,09
22,70	61	18,93	18°30'	61	51,6	51,6	56,6	88	80	70,25
22,90	100	19,13	18°	100	56,2	56,2	62,3	100	92	79,42
23,10	117	19,33	22°	117	61,9	61,9	69			83,52
23,30	135	19,53	23°30'	135	68,7	68,7	74,7			74,15
23,50	152	19,73	24°30'	152	76,5	76,5	77,9			72,78
23,70	153	19,93	25°	153	83,7	78,8	78,1			
23,90	166	20,13	25°	166	91,4	78,3	77			
24,10	100	20,33	26°	100	92,4	77,1	75,6			
24,30	101	20,53	21°30'	101	93,5	75,7	74,0			
24,50	103	20,73	21°30'	103	94,8	74,1	72,10			
24,70	100	20,93	22°	100	95,7	72,2				
24,90	70	21,13	18°	70	70	70				
25,10	80	21,33	19°30'	80						

**ESSAI DE PENETRATION II à OUD-TURNHOUI**

Résistance à la base du pieu  $d_g$  en  $kg/cm^2$

Résistance à la pointe  $C_{k,d}$  en  $kg/cm^2$  (1<sup>ère</sup> lecture)

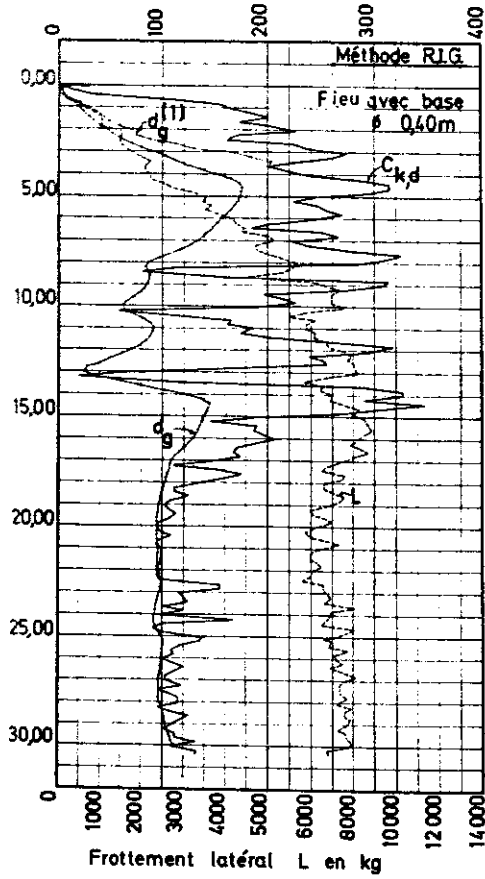


Fig. 61.

**ESSAI DE PENETRATION I à MALINES**

Résistance à la base du pieu  $d_g$  en  $kg/cm^2$

Résistance à la pointe  $C_{k,d}$  en  $kg/cm^2$  (1<sup>ère</sup> lecture)

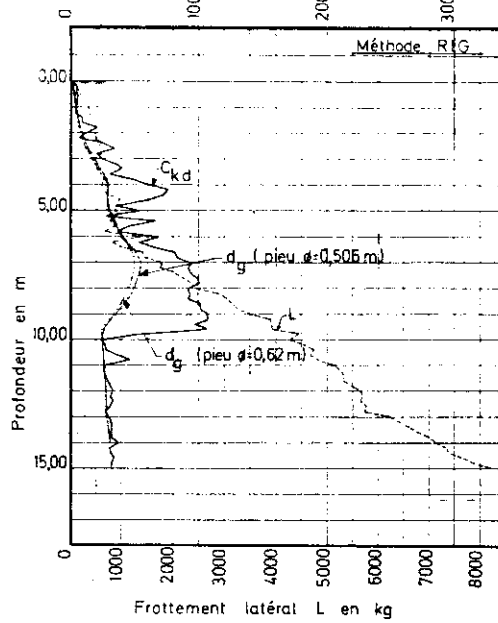


Fig. 62.

**ESSAI DE PENETRATION I à YPRES**

Résistance à la base du pieu  $d_g$  en  $kg/cm^2$

Résistance à la pointe  $C_{k,d}$  en  $kg/cm^2$  (1<sup>ère</sup> lecture)

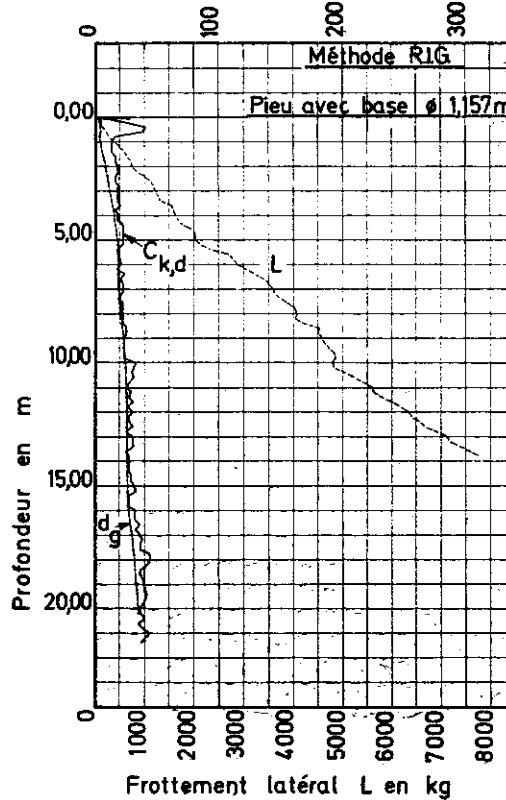


Fig. 63.

able de compacité moyenne reposant sur une couche d'argile consistante

de pénétration I à Malines.

la figure 62 sont dessinés les diagrammes  $C_{k,d}$  de l'essai de pénétration I effectués à Malines.

na calculé les valeurs de  $d_g$  pour des pieux battus respectivement  $\varnothing$  0,506 m et  $\varnothing$  0,620 m à la : Les détails des calculs sont donnés au ta- u XXX et les courbes  $d_g$  sont dessinées à la re 62. L'allure des courbes permet de se rendre pte de l'influence du diamètre sur  $d_g$ .

a valeur maximum de  $d_g$  est de 55,75  $kg/cm^2$  pour base  $\varnothing$  0,506 m et se réduit à 50,86  $kg/cm^2$  pour base  $\varnothing$  0,620 m.

argile tertiaire consistante

de pénétration I à Sint Jan près de Ypres.

la figure 63 sont dessinés les diagrammes  $C_{k,d}$  de l'essai de pénétration I effectué à Sint Jan

TABLEAU XXIX. — OUD TURNHOUT. — Essai de pénétration II. — Base du pieu  $\varnothing = 0,40$  m.

1	2	3	4	5	6	7	8
Profondeur $h$	$C_{k,d}$ ( <i>pre lecture</i> )	$P_b$ ( $k = 36 t/m^2$ resp. $3,6 t/m^2$ )	$\varphi, \varphi'$	$d_g^{(4)}$ Form (62)	$d_{g,j+1}$ Form (160)	$d_{g,q+1}$ Form (81)	$d_g$ valeurs homogénéisées
m	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	dégréés	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0		0	0°	0	0	0	0
0,20	14,28	0,32	35°30'	4,01	2,32	2,32	4,01
0,40	32,28	0,64	36°30'	4,64	3,94	3,94	4,64
0,60	108,42	0,96	40°	12,76	7,06	7,06	10,97
0,80	152,42	1,28	40°	20,34	10,90	10,90	15,04
1,00	164,42	1,60	39°30'	26,37	14,96	14,96	19,29
1,20	184,42	1,92	39°	34,78	19,27	19,27	23,81
1,40	200,42	2,24	39°	41,99	23,63	23,63	28,55
1,60	172,56	2,56	37°30'	47,54	28,54	28,54	33,59
1,80	204,56	2,88	38°	58,60	33,49	33,49	38,93
2,00	224,56	3,20	38°	70,66	38,73	38,73	45,06
2,20	170,56	3,52	36°	74,50	44,58	44,58	52,10
2,40	160,56	3,84	35°	87,93	51,87	51,87	60,56
2,60	224,70	4,16	36°30'	112,08	59,86	59,86	70,15
2,80	236,70	4,48	36°30'	129,03	69,94	69,94	80,86
3,00	272,70	4,80	36°30'	164,88	80,65	80,65	91,63
3,20	260,70	5,12	36°	183,94	91,98	91,98	102,37
3,40	224,70	5,44	35°	203,72	102,25	102,25	113,00
3,60	200,84	5,76	34°30'	200,84	112,89	112,89	124,78
3,80	216,84	6,08	34°30'	216,84	123,86	123,86	137,90
4,00	232,84	6,40	34°30'	232,84	137,58	137,58	151,97
4,20	284,84	6,72	35°	284,84	152,25	152,25	165,04
4,40	312,84	7,04	35°30'	312,84	166,09	166,09	173,18
4,60	314,98	7,36	35°	314,98	177,60	177,77	176,43



4,80	292,98	7,68	35°	292,98	185,28	176,69	175,67
5,00	244,98	8,00	33°30'	244,98	189,55	175,84	174,26
5,20	222,98	8,20	33°	222,98	194,76	174,48	172,23
5,40	244,98	8,40	33°30'	244,98	200,13	172,47	169,44
5,60	253,12	8,60	33°30'	253,12	206,08	169,73	165,88
5,80	269,12	8,80	33°30'	269,12	210,26	166,13	161,56
6,00	243,12	9,00	33°	243,12	212,10	161,77	156,86
6,20	205,12	9,20	32°	205,12	205,12	156,79	152,51
6,40	185,12	9,40	31°30'	185,12	185,12	152,01	148,42
6,60	249,26	9,60	33°	249,26	191,24	148,73	144,27
6,80	265,26	9,80	33°	265,26	194,75	144,52	139,25
7,00	223,26	10,00	32°	223,26	198,82	139,56	133,31
7,20	237,26	10,20	32°30'	237,26	204,42	133,69	126,19
7,40	275,26	10,40	33°	275,26	212,71	126,69	117,67
7,60	325,40	10,60	33°30'	325,40	219,72	118,18	107,63
7,80	309,40	10,80	33°30'	309,40	224,97	108,14	96,33
8,00	283,40	11,00	33°	283,40	220,89	96,58	87,42
8,20	113,40	11,20	27°30'	113,40	113,40	84,28	84,67
8,40	81,40	11,40	24°30'	81,40	81,40	81,40	86,17
8,60	145,54	11,60	29°	145,54	88,32	88,32	88,25
8,80	313,54	11,80	33°	313,54	100,45	88,79	87,28
9,00	305,54	12,00	33°	305,54	110,10	87,64	85,17
9,20	269,54	12,20	32°	269,54	115,40	85,42	82,07
9,40	195,54	12,40	30°30'	195,54	124,06	82,45	77,88
9,60	213,68	12,60	30°30'	213,68	133,68	78,33	72,35
9,80	225,68	12,80	31°	225,68	143,58	72,86	65,47
10,00	185,68	13,00	30°	185,68	148,68	65,87	62,03
10,20	57,68	13,20	20°30'	57,68	57,68	57,68	64,38
10,40	103,68	13,40	25°	103,68	62,53	62,53	72,49
10,60	165,82	13,60	29°	165,82	72,94	72,94	82,33
10,80	161,82	13,80	28°30'	161,82	82,01	82,01	88,69
11,00	185,82	14,00	29°30'	185,82	92,57	92,05	91,72
11,20	173,82	14,20	29°	173,82	101,01	92,00	90,74
11,40	201,82	14,40	29°30'	201,82	111,37	91,11	88,53

11,60	265,96	14,60	31°	265,96	126,95	89,11	84,61
11,80	317,96	14,80	32°	317,96	146,21	85,37	78,66
12,00	293,96	15,00	31°30'	293,96	161,21	79,36	70,72
12,20	237,96	15,20	30°30'	237,96	169,55	71,26	60,93
12,40	249,96	15,40	30°30'	249,96	178,27	61,54	49,34
12,60	254,10	15,60	30°30'	254,10	186,59	49,99	36,84
12,80	162,10	15,80	27°30'	162,10	162,10	36,48	26,88
13,00	64,10	16,00	20°	64,10	64,10	24,06	24,33
13,20	20,10	16,20	7°	20,10	20,10	20,10	34,29
13,40	110,10	16,40	24°	110,10	28,82	28,82	54,34
13,60	290,24	16,60	31°	290,24	53,95	53,95	79,44
13,80	326,24	16,80	31°30'	326,24	80,24	80,24	102,27
14,00	326,24	17,00	31°30'	326,24	104,14	104,14	123,66
20	290,24	17,20	30°30'	290,24	122,44	122,44	137,67
14,40	346,24	17,40	31°30'	346,24	144,41	144,41	145,09
14,60	306,38	17,60	31°	306,38	160,58	146,15	144,31
14,80	266,38	17,80	30°	266,38	171,47	144,72	141,91
15,00	186,38	18,00	27°30'	186,38	173,76	142,07	139,73
15,20	146,38	18,20	25°30'	146,38	146,38	138,93	138,00
15,40	190,38	18,40	27°30'	190,38	151,29	138,19	136,71
15,60	186,52	18,60	27°	186,52	155,38	136,89	134,85
15,80	194,52	18,80	27°30'	194,52	159,86	135,06	132,36
16,00	206,52	19,00	28°	206,52	165,05	132,61	129,20
16,20	186,52	19,20	27°	186,52	167,87	129,40	125,43
16,40	170,52	19,40	26°	170,52	168,91	125,59	121,24
16,60	166,66	19,60	26°	166,66	166,66	121,31	116,62
16,80	174,66	19,80	26°	174,66	168,19	116,82	112,28
17,00	146,66	20,00	25°	146,66	146,66	111,74	109,36
17,20	110,66	20,20	22°30'	110,66	110,66	108,29	107,90
10	154,66	20,40	25°	154,66	115,31	108,06	107,11
17,60	174,80	20,60	26°	174,80	121,44	107,34	105,77
17,80	154,80	20,80	25°	154,80	125,12	105,94	103,94
18,00	130,80	21,00	23°30'	130,80	126,20	104,04	102,28

18,20	110,80	21,20	22°	110,80	110,80	101,85	100,93
18,40	110,80	21,40	22°	110,80	110,80	100,96	99,90
18,60	122,94	21,60	23°	122,94	112,41	99,99	98,90
18,80	106,94	21,80	21°30'	106,94	106,94	98,76	98,06
19,00	102,94	22,00	21°30'	102,94	102,94	97,95	97,42
19,20	106,94	22,20	21°30'	106,94	103,74	97,46	96,74
19,40	112,94	22,40	22°	112,94	105,03	96,84	95,98
19,60	107,08	22,60	21°30'	107,08	105,65	96,03	95,40
19,80	95,08	22,80	20°30'	95,08	95,08	95,08	95,21
20,00	95,08	23,00	20°	95,08	95,08	95,08	95,32
20,20	99,08	23,20	20°30'	99,08	95,83	95,46	95,37
20,40	109,08	23,40	21°30'	109,08	97,45	95,42	95,29
20,60	95,22	23,60	20°	95,22	95,22	95,22	95,43
20,80	95,22	23,80	20°	95,22	95,22	95,22	95,62
21,00	99,22	24,00	20°	99,22	95,96	95,82	95,79
21,20	99,22	24,20	20°	99,22	95,62	95,81	95,71
21,40	99,22	24,40	20°	99,22	97,23	95,73	95,56
21,60	99,36	24,60	20°	99,36	97,79	95,58	95,46
21,80	95,36	24,80	19°30'	95,36	95,36	95,36	95,38
22,00	99,36	25,00	20°	99,36	96,08	95,42	95,62
22,20	95,36	25,20	19°30'	95,36	95,36	95,36	97,00
22,40	99,36	25,40	19°30'	99,36	96,08	96,08	98,32
22,60	155,50	25,60	23°30'	155,50	101,98	99,56	99,14
22,80	155,50	25,80	23°30'	155,50	107,35	99,82	98,47
23,00	115,50	26,00	20°30'	115,50	108,49	98,53	97,47
23,20	119,50	26,20	21°	119,50	109,90	97,55	96,24
23,40	123,50	26,40	21°30'	123,50	111,55	96,33	95,17
23,60	99,64	26,60	19°	99,64	99,64	94,83	94,26
23,80	119,64	26,80	21°	119,64	101,85	94,35	93,79
24,00	95,64	27,00	19°30'	95,64	95,64	93,61	93,17
24,20	167,64	27,20	23°30'	167,64	102,68	93,41	92,56
24,40	99,64	27,40	19°	99,64	99,64	92,49	92,37
24,60	91,78	27,60	19°	91,78	91,78	91,78	93,98

24,80	99,78	27,80	18°30'	99,78	92,83	92,83	96,91
25,00	137,78	28,00	21°30'	137,78	97,33	97,33	99,48
25,20	135,78	28,20	21°30'	135,78	101,23	100,58	100,45
25,40	117,78	28,40	20°	117,78	103,10	100,52	100,23
25,60	107,92	28,60	19°30'	107,92	103,98	100,26	99,85
25,80	111,92	28,80	19°30'	111,92	104,96	99,90	99,55
26,00	99,92	29,00	18°30'	99,92	99,92	99,40	99,30
26,20	111,92	29,20	19°30'	111,92	101,35	99,35	99,08
26,40	119,92	29,40	20°	119,92	103,39	99,15	98,88
26,60	112,06	29,60	19°30'	112,06	104,52	98,73	98,16
26,80	104,06	29,80	18°30'	104,06	104,06	98,16	97,66
27,00	104,06	30,00	18°30'	104,06	104,06	97,58	96,86
27,20	120,06	30,20	20°	120,06	105,85	96,94	96,67
27,40	96,06	30,40	18°	96,06	96,06	96,06	96,68
27,60	108,20	30,60	18°30'	108,20	97,48	97,02	96,89
27,80	116,20	30,80	19°	116,20	99,80	96,97	96,62
28,00	116,20	31,00	19°	116,20	101,62	96,69	96,83
28,20	96,20	31,20	17°30'	96,20	96,20	96,20	98,11
28,40	108,20	31,40	18°30'	108,20	97,59	97,59	100,14
28,60	126,34	31,60	20°	126,34	100,54	100,54	101,75
28,80	116,34	31,80	19°	116,34	102,30	102,30	102,35
29,00	108,34	32,00	18°30'	108,34	103,15	102,41	102,77
29,20	102,34	32,20	18°	102,34	102,34	102,34	103,53
29,40	112,34	32,40	18°30'	112,34	103,56	103,56	105,26
29,60	112,48	32,60	18°30'	112,48	104,68	104,68	106,72
29,80	132,48	32,80	20°	132,48	107,55	107,55	108,66
30,00	108,48	33,00	18°	108,48	107,93	107,93	110,42
30,20	132,48	33,20	20°	132,48	110,50	110,50	
30,40	132,48	33,40	20°	132,48	112,84	112,84	

Profondeur h	$C_{kd}$ (structure)	$P_b$ ( $\gamma = \text{sol/m}^3$ )	$\varphi - \varphi'$	Base du pieu $\phi = 0,506 \text{ m}$				Base du pieu $\phi = 0,620 \text{ m}$				
				$d_g^{(1)}$	$d_{g,j+1}$	$d_{g,q+1}$	$d_g$	$d_g^{(1)}$	$d_{g,j+1}$	$d_{g,q+1}$	$d_g$	
				Form (62)	Form (60)	Form (61)	valeurs homogénéisées	Form (62)	Form (60)	Form (61)	valeurs homogénéisées	
m	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	degrés	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,20	5	0,32	30° 30'	0,95	0,95	0,95	0,95	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
0,40	4	0,64	23° 30'	1,43	1,43	1,43	1,43	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
0,60	5	0,96	22°	2,28	1,91	1,91	2,28	2,11	1,80	1,80	2,11	2,11
0,80	5	1,28	20°	3,05	2,40	2,40	2,87	2,70	2,22	2,22	2,61	2,61
1,00	3	1,48	13°	3	2,64	2,64	3,38	2,62	2,42	2,42	2,62	2,62
1,20	3	1,68	12°	3	2,64	2,64	4,19	3	2,63	2,63	3,00	3,00
1,40	9	1,88	21° 30'	7,87	3,61	3,61	4,99	6,31	3,18	3,18	4,38	4,38
1,60	9	2,08	20° 30'	9	4,12	4,12	5,59	7,81	3,82	3,82	5,06	5,06
1,80	21	2,28	26° 30'	15,73	5,89	5,89	6,59	12,50	4,86	4,86	6,00	6,00
2,00	11	2,48	21°	11	6,68	6,68	7,96	11	5,65	5,65	7,15	7,15
2,20	6	2,68	14°	6	6,00	6,00	9,62	6	5,89	5,89	8,43	8,43
2,40	27	2,88	27°	27	8,40	8,40	11,68	22,07	7,58	7,58	10,03	10,03
2,60	35	3,08	28° 30'	35	11,38	11,38	13,79	26,11	9,48	9,48	11,81	11,81
2,80	21	3,28	24°	21	12,68	12,68	15,83	21	10,77	10,77	13,75	13,75
3,00	25	3,48	24° 30'	25	14,24	14,24	17,93	25	12,29	12,29	15,76	15,76
3,20	37	3,68	27° 30'	37	16,82	16,85	20,46	37	14,70	14,70	18,13	18,13
3,40	41	3,88	27° 45'	41	19,55	19,55	23,31	41	17,25	17,25	20,81	20,81
3,60	31	4,08	25°	31	21,09	21,09	25,97	31	18,78	18,78	23,76	23,76
3,80	51	4,28	29°	51	24,35	24,35	28,18	51	21,80	21,80	26,32	26,32
4,00	61	4,48	29° 30'	61	28,25	28,25	29,43	61	25,39	25,39	28,05	28,05
4,20	77	4,68	31° 30'	77	33,28	30,17	29,49	77	29,97	29,08	28,77	28,77
4,40	73	4,88	30°	73	37,52	29,93	28,92	73	33,91	29,02	28,42	28,42

4,60	59	5,08	28° 30'	59	40,15	29,35	28,19	59	36,48	28,72	27,92
4,80	37	5,28	24° 30'	37	37,00	28,52	28,58	37	37,00	28,24	28,34
5,00	55	5,48	27°	55	39,23	27,87	29,60	55	39,01	27,70	29,27
5,20	27	5,68	21° 30'	27	27,00	27,00	31,01	27	27,00	27,00	30,55
5,40	67	5,88	28° 30'	67	30,92	30,92	33,58	67	30,41	30,41	32,85
5,60	45	6,08	25°	45	32,62	32,62	35,66	45	34,97	34,17	34,74
5,80	37	6,28	23°	37	33,49	33,49	37,97	37	32,83	32,83	36,84
6,00	72	6,48	21° 30'	72	37,28	37,28	41,05	72	36,17	36,17	39,61
6,20	54	6,68	24° 30'	54	39,23	39,23	44,44	54	37,98	37,98	42,40
6,40	64	6,88	26° 30'	64	41,87	41,87	47,81	64	40,38	40,38	45,37
6,60	82	7,08	28° 30'	82	45,82	45,82	51,23	82	43,90	43,90	47,33
6,80	84	7,28	28° 30'	84	49,62	49,62	53,56	84	47,33	47,33	49,12
7,00	96	7,48	29° 30'	96	54,13	54,13	54,81	96	51,38	49,88	49,52
7,20	92	7,68	29°	92	57,95	56,34	54,73	92	54,88	49,79	49,09
7,40	94	7,88	29°	94	61,64	55,44	54,06	94	58,29	49,48	48,41
7,60	100	8,08	29°	100	65,53	54,64	53,06	100	61,89	48,94	47,49
7,80	102	8,28	28°	102	69,28	63,81	54,74	102	65,39	48,14	46,32
8,00	92	8,48	28°	92	74,92	52,63	50,10	92	67,97	47,08	44,92
8,20	94	8,68	28°	94	74,51	54,15	48,14	94	70,51	45,79	43,27
8,40	92	8,88	27° 30'	92	76,73	49,36	45,84	92	72,54	44,27	41,36
8,60	102	9,08	28°	102	79,58	47,26	43,15	102	75,51	42,52	39,18
8,80	102	9,28	28°	102	82,21	44,79	40,05	102	78,09	40,49	36,70
9,00	108	9,48	28°	108	85,41	41,93	36,52	108	80,91	38,17	33,80
9,20	108	9,68	28°	108	87,79	38,62	32,53	108	83,55	35,54	30,75
9,40	98	9,88	27°	98	89,45	34,85	28,88	98	85,33	32,58	27,86
9,60	108	10,08	28°	108	91,77	30,67	26,30	108	87,67	29,23	25,86
9,80	52	10,28	22°	52	52	25,89	24,89	52	52	25,63	24,76

10,00	24	10,48	14° 30'	24	24	24	24,92	24	24	24	24,82
10,20	28	10,68	15° 30'	28	24,53	24,53	25,19	28	24,48	24,48	25,37
10,40	28	10,88	15° 30'	28	25,02	25,02	25,89	28	24,93	24,93	25,78
10,60	36	11,08	18°	36	26,11	26,11	26,13	36	25,88	25,88	26,05
10,80	48	11,28	20° 30'	48	28,07	26,28	26,20	48	27,57	26,19	26,16
11,00	28	11,48	15°	28	28	26,14	26,34	28	27,83	26,11	26,31
11,20	26	11,68	14°	26	26	26	26,67	26	26	26	26,62
11,40	28	11,88	15°	28	26,36	26,36	27,21	28	26,34	26,34	27,12
11,60	30	12,08	15° 30'	30	26,85	26,85	27,68	30	26,79	26,79	27,57
11,80	32	12,28	15° 30'	32	27,46	27,46	28,02	32	27,34	27,34	27,91
12,00	34	12,48	16°	34	28,18	28,18	28,18	34	27,99	27,99	28,09
12,20	32	12,68	15° 30'	32	28,69	28,23	28,14	32	28,46	28,16	28,10
12,40	34	12,88	15° 30'	34	29,31	28,20	28,19	34	29,03	28,14	28,15
12,60	32	13,08	15° 30'	32	29,73	28,12	28,38	32	29,43	28,08	28,33
12,80	28	13,28	13° 30'	28	28	28	28,73	28	28	28	28,64
13,00	31	13,48	14° 30'	31	28,43	28,43	29,22	31	28,39	28,39	29,04
13,20	33	13,68	15°	33	28,98	28,98	29,71	33	28,83	28,83	29,19
13,40	33	13,88	15°	33	29,49	29,49	30,22	33	29,34	29,34	30,04
13,60	33	14,08	14° 30'	33	29,96	29,96	30,59	33	29,58	29,58	30,45
13,80	33	14,28	14° 30'	33	30,39	30,39	30,94	33	30,22	30,22	30,89
14,00	39	14,48	16°	39	31,25	31,02	31,30	39	31,00	31,00	31,27
14,20	31	14,68	13° 30'	31	31	31	31,57	31	31	31	31,53
14,40	33	14,88	14°	33	31,35	31,35	31,92	33	31,33	31,33	31,86
14,60	35	15,08	14° 30'	35	31,83	31,83		35	31,76	31,76	
14,80	33	15,28	14°	33	32,11	32,11		33	32,04	32,04	
15,00	33	15,48	13° 30'	33	32,37	32,37		33	32,30	32,30	

de Ypres. A partir de 0,80 m sous la surface du sol se trouve dans l'argile de l'Yprésien.

On a calculé les valeurs de  $d_g$  pour un pieu Franki base surélargie  $\varnothing = 1,157$  m.

Les détails des calculs sont donnés au tableau XXXI. La courbe  $d_g$  est dessinée à la figure 63. On constate qu'il faut descendre à 5,50 m de profondeur avant que la courbe  $d_g$  ne se raccroche à la courbe  $C_{k,d}$ . Au-dessous de ce niveau la courbe  $d_g$  passe par les minima de la courbe  $C_{k,d}$ .

TABLEAU XXXI. YPRES. — Essai de pénétration I. — Base du pieu  $\varnothing = 1,157$  m.

1	2	3	4	5	6	7	8
Profondeur $h$	$C_{kd}$ (valeur lecture)	$P_b$ ( $V_k = 1571 \text{ m}^2 \text{ sec}^2$ $1071 \text{ m}^2$ )	$\varphi, \varphi'$	$d_g^{(1)}$ Form (62)	$d_{g,j+1}$ Form (100)	$d_{g,q+1}$ Form (81)	$d_g$ valeurs homogénéisées
m	kg/cm <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	degrés	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0	0	0	0	0	0
0,20	22,33	0,32	37° 30'	5,83	1,77	1,77	3,58
0,40	42,36	0,64	37° 30'	4,68	2,52	2,52	4,14
0,60	38,38	0,96	35°	5,31	3,14	3,14	4,66
0,80	16,41	1,28	29° 30'	3,75	3,68	3,68	3,75
1,00	14,44	1,60	26° 30'	4,39	4,17	4,17	4,39
1,20	14,47	1,92	25°	5,19	4,66	4,66	5,19
1,40	14,50	2,24	24°	5,90	5,14	5,14	5,90
1,60	16,52	2,56	24°	7,15	5,66	5,66	7,15
1,80	16,55	2,88	23°	8,11	6,20	6,20	8,11
2,00	18,58	3,20	23°	9,66	6,80	6,80	8,84
2,20	18,61	3,52	22°	11,04	7,44	7,44	9,59
2,40	16,64	3,84	20° 30'	11,54	8,05	8,05	10,34
2,60	16,66	4,16	20°	12,91	8,70	8,70	11,10
2,80	18,69	4,48	20° 30'	15,05	9,44	9,44	11,85
3,00	18,72	4,80	19° 30'	17,94	10,30	10,30	12,60
3,20	18,75	5,12	19°	18,75	11,15	11,15	13,31
3,40	18,78	5,44	18° 30'	18,78	11,94	11,94	14,02
3,60	20,80	5,76	19°	20,80	12,79	12,79	14,71
3,80	16,83	6,08	16° 30'	16,83	13,36	13,36	15,38
4,00	18,86	6,40	17°	18,86	14,00	14,00	16,05
4,20	18,89	6,72	16° 30'	18,89	14,60	14,60	16,68



440	22,92	7,04	18°	22,92	15,38	15,38	17,29
460	22,94	7,36	17° 30'	22,94	16,41	16,41	17,83
480	22,97	7,68	17°	22,97	16,80	16,80	18,26
500	23,00	8,00	17°	23,00	17,45	17,45	18,59
520	23,03	8,32	16° 30'	23,03	18,06	18,06	18,88
540	19,06	8,64	14°	19,06	18,44	18,44	18,08
560	19,08	8,96	13° 30'	19,08	18,80	18,80	19,23
580	21,11	9,28	14° 30'	21,11	19,23	19,19	19,33
600	21,14	9,60	14°	21,14	19,64	19,19	19,37
620	19,17	9,92	12° 30'	19,17	19,17	19,17	19,41
640	25,20	10,24	15° 30'	25,20	19,75	19,51	19,49
660	21,22	10,56	13°	21,22	20,11	19,50	19,59
680	23,25	10,88	13° 30'	23,25	20,54	19,48	19,74
700	23,28	11,20	13° 30'	23,28	20,95	19,45	19,95
720	23,31	11,52	13°	23,31	21,34	19,40	20,21
740	19,34	11,84	10° 30'	19,34	19,34	19,34	20,54
760	23,36	12,16	12° 30'	23,36	19,77	19,77	20,94
780	23,39	12,48	12° 30'	23,39	20,18	20,18	21,32
800	23,42	12,80	12°	23,42	20,57	20,57	21,68
820	23,45	13,12	12°	23,45	20,94	20,94	22,02
840	23,48	13,44	11°	23,48	21,29	21,29	22,35
860	25,50	13,76	12° 30'	25,50	21,71	21,71	22,66
880	25,53	14,08	12°	25,53	22,11	22,11	23,00
900	23,56	14,40	10° 30'	23,56	22,41	22,41	23,37
920	23,59	14,72	10° 30'	23,59	22,70	22,70	23,76
940	23,62	15,04	10° 30'	23,62	22,97	22,97	24,17
960	23,64	15,36	9° 30'	23,64	23,23	23,23	24,58
980	23,67	15,68	9° 30'	23,67	23,48	23,48	24,95
1000	33,70	16,00	13° 30'	33,70	24,13	24,13	25,31

10,20	31,73	16,32	12° 30'	31,73	24,67	24,67	25,58
10,40	29,76	16,64	12°	29,76	25,11	25,11	25,76
10,60	31,78	16,96	12° 30'	31,78	25,61	25,61	25,88
10,80	27,81	17,28	10° 30'	27,81	25,93	25,84	26,96
11,00	25,84	17,60	9° 30'	25,84	25,84	25,84	26,00
11,20	29,87	17,80	11°	29,87	26,13	25,98	26,05
11,40	27,90	18,00	9° 30'	27,90	26,34	25,98	26,09
11,60	31,92	18,20	12°	31,92	26,08	25,97	26,10
11,80	25,95	18,40	9°	25,95	25,95	25,95	26,14
12,00	31,98	18,60	11°	31,98	26,31	26,15	26,19
12,20	28,01	18,80	9° 30'	28,01	26,51	26,15	26,20
12,40	28,04	19,00	9° 30'	28,04	26,70	26,14	26,20
12,60	32,06	19,20	11°	32,06	27,03	26,12	26,24
12,80	26,09	19,40	8°	26,09	26,09	26,09	26,31
13,00	32,12	19,60	10° 30'	32,12	26,44	26,26	26,40
13,20	32,15	19,80	10° 30'	32,15	26,78	26,25	26,45
13,40	32,18	20,00	10° 30'	32,18	27,10	26,23	26,52
13,60	26,20	20,20	8°	26,20	26,20	26,20	26,59
13,80	28,23	20,40	9°	28,23	26,40	26,40	26,66
14,00	28,26	20,60	9°	28,26	26,59	26,59	26,70
14,20	28,29	20,80	9°	28,29	26,78	26,74	26,70
14,40	28,32	21,00	8°	28,32	26,96	26,74	26,68
14,60	30,34	21,20	9°	30,34	27,20	26,73	26,65
14,80	30,37	21,40	9°	30,37	27,44	26,72	26,66
15,00	32,40	21,60	9° 30'	32,40	27,74	26,70	26,72
15,20	34,43	21,80	10° 30'	34,43	27,10	26,67	26,83
15,40	28,46	22,00	8°	28,46	28,24	26,62	27,01
15,60	28,48	22,20	8°	28,48	28,37	26,57	27,24
15,80	26,51	22,40	7°	26,51	28,51	26,51	27,53

16,00	32,54	22,60	9°	32,54	26,84	26,84	27,89
16,20	32,57	22,80	9°	32,57	27,16	27,16	28,27
16,40	32,60	23,00	9°	32,60	27,47	27,47	28,65
16,60	36,62	23,20	10° 30'	36,62	27,91	27,91	29,08
16,80	32,65	23,40	9°	32,65	28,19	28,19	29,54
17,00	36,68	23,60	10° 30'	36,68	28,61	28,61	30,03
17,20	36,71	23,80	10° 30'	36,71	29,08	29,08	30,51
17,40	36,74	24,00	9°	36,74	29,47	29,47	30,96
17,60	36,76	24,20	9°	36,76	29,84	29,84	31,40
17,80	44,79	24,40	12°	44,79	30,48	30,48	31,86
18,00	44,82	24,60	12°	44,82	31,10	31,10	32,28
18,20	42,85	24,80	11°	42,85	31,63	31,63	32,68
18,40	36,88	25,00	9° 30'	36,88	31,94	31,94	33,05
18,60	36,90	25,20	9° 30'	36,90	32,24	32,24	33,42
18,80	36,93	25,40	9° 30'	36,93	32,60	32,60	33,78
19,00	40,96	25,60	10° 30'	40,96	33,02	33,02	34,12
19,20	40,99	25,80	10° 30'	40,99	33,42	33,42	34,43
19,40	43,02	26,00	11°	43,02	33,88	33,88	34,68
19,60	41,04	26,20	10° 30'	41,04	34,26	34,26	34,91
19,80	39,07	26,40	9° 30'	39,07	34,55	34,55	35,14
20,00	37,10	26,60	9°	37,10	34,77	34,77	35,38
20,20	37,13	26,80	9°	37,13	34,98	34,98	35,61
20,40	41,16	27,00	9° 30'	41,16	35,32	35,32	
20,60	35,18	27,20	8°	35,18	35,18	35,18	
20,80	39,21	27,40	9°	39,21	35,44	35,44	
21,00	45,24	27,60	10° 30'	45,24	35,90	35,90	
21,20	44,27	27,80	9° 30'	44,27	36,21	36,21	
21,40	37,30	28,00	8°	37,30	36,37	36,37	

## X. CONCLUSION

Dans la présente contribution une méthode a été esquissée permettant de déduire à partir des résistances au cône  $C_{k,d}$  mesurées dans un essai de pénétration une valeur située du côté de la sécurité pour la capacité portante limite par résistance à la base d'un pieu battu. Cette méthode tient essentiellement compte de l'effet d'échelle par une limitation du gradient d'accroissement. Cette méthode est comparée avec la méthode semi-empirique utilisée par le « Laboratorium voor Grondmechanica » à Delft, et avec une méthode amendée de Meyerhof.

La mise au point de la méthode a été faite en la confrontant avec les essais de l'I.R.A.B.A. sur des sables de forte compacité.

Les résultats de la méthode ont par ailleurs été comparés avec les données d'essais de chargement effectués avec grand soin sur des Pieux Franki à base surélargie, avec les essais de l'I.R.A.B.A. effectués sur des sables de faible et moyenne compacité, et finalement avec un certain nombre d'essais de chargement de chantier.

Toutes les comparaisons effectuées permettent de conclure qu'avec la méthode esquissée on peut obtenir pour des pieux battus une valeur située du côté de la sécurité pour la capacité portante limite par résistance à la base.

La description de la méthode pourrait faire naître l'impression que son application est assez compliquée. En fait la méthode peut être aisément pro-

grammée de telle façon que les résultats peuvent être obtenus dans des temps relativement limités.

permissible pile loads and extended settlement observations. — Proceedings of the Second International Conference on Soil Mechanics, Rotterdam, Volume IV, 112-118.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Monsieur Surmont, chef du bureau de dessin, et Mr. Bracke, technicien au laboratoire de l'Université, pour l'aide qu'ils m'ont apportée dans la programmation et dans l'exécution des calculs.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] BEGEMANN H.K.S. (1965): « The friction jacket cone as an aid in determining the soil profile » — Proceedings of the Sixth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal, Vol. I, pp. 17-20.
- [2] KERISEL J. (1961): « Fondations profondes en milieux sableux: Variation de la force portante limite en fonction de la densité, de la profondeur, du diamètre et de la vitesse d'enfoncement » — Comptes rendus du 5e Congrès International de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondations, Paris, Vol. II, pp. 73-83.
- [3] KERISEL J. (1964): « Deep Foundations Basic Experimental Facts » — Proceedings of the Conference on Deep Foundations, Mexico, 7-12 December, Vol. I.
- [4] DE BEER E.E. (1963): « The scale effect in the transposition of the results of deepsounding tests on the ultimate bearing capacity of piles and caisson foundations » — Géotechnique, Vol. XIII, March, pp. 39-75.
- [5] BEGEMANN H.K.S. (1963): « The use of the static soli penetrometer in Holland » — N.Z. Engineering, February 15.
- [6] BEGEMANN H.K.S. (1969): « The Dutch static penetration test with the adhesion jacket cone » — L.G.M.-Mededelingen, (Deel XII, n° 4, April — Deel XIII, n° 1, juli).
- [7] MEYERHOF G.G. (1959): « Compaction of sand and bearing capacity of piles » — Proceedings of the American Society of Civil Engineers, n° SM 6, December.
- [8] MEYERHOF G.G. (1960): « The design of Franki piles with special reference to groups in sand » — Proceedings of the Sixth International Congress on Bridges and Structural Engineering, Stockholm.
- [9] DE BEER E.E. (1945): « Etude des fondations sur pilotis et des fondations directes. L'appareil de pénétration en profondeur » — Annales des Travaux Publics de Belgique, Avril, Juin et Août.
- [10] DE BEER E.E. (1949): « Grondmechanica — Deel II » — Standaard Boekhandel — Antwerpen.
- [11] MEYERHOF G.G. (1951): « The ultimate bearing capacity of foundations » — Géotechnique, Vol. II, n° 4, December, pp. 301-332.
- [12] DE BEER E.E. et WALLAYS M. (1971): « Pieux Franki à base surélargie » — La Technique des Travaux — n° 333 — Janvier-Février 1972.
- [13] VAN DER VEEN C. (1953): « The bearing capacity of a pile » — Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Zürich, Volume II, 84-90.
- [14] PANET M. (1971): « Etude des Fondations sur sable en modèle réduit » — Conférence donnée à l'Université de Gand.
- [15] PLANTEMA G. (1948): Results of a special loading-test on a reinforced concrete pile, a so-called pile sounding; interpretation of the results of deep-soundings,

## TABLE DES MATIERES

	<i>Page</i> <i>fasc. 4</i>
I. Introduction	191
II. Méthode du laboratoire de Mécanique des Sols de Delft	191
a. Description de la méthode	191
1. Détermination de $d_{g,1}$	192
2. Détermination de $d_{g,s}$	194
b. Critique de la méthode	195
1. Critique rationnelle	195
2. Confrontation avec les résultats expérimentaux	196
III. Méthode Meyerhof	196
A. Méthode non amendée	196
a. Description de la méthode	196
b. Confrontation avec les essais de l'I.R.A.B.A.	198
B. Méthode amendée	198
a. Principe de la méthode	198
b. Application de la méthode de Meyerhof aux essais de l'I.R.A.B.A.	206
IV. Méthode basée sur des considérations des lois de similitude	206
a. Description de la méthode	206
a-1. Valeur de l'angle de frottement apparent	207
a-2. Influence de la profondeur critique	207
a-3. Calculs de valeurs $d_g^{(1)}$ à partir d'un sol considéré comme homogène	212
a-4. Adaptation pour tenir compte de l'hétérogénéité des couches — Méthode du gradient d'accroissement	213
a-5. Introduction d'une valeur moyenne sur l'épaisseur D	216
b. Application de la méthode R.I.G. aux essais de l'I.R.A.B.A.	217
c. Examen de l'influence de la valeur de la subdivision	220
c-1. Cas idéalisé	221
c-2. Cas concret	226
d. Influence du choix de l'entredistance « a ». Raffinement à apporter à la méthode en ce domaine	228
Application aux essais de l'I.R.A.B.A.	229
V. Applications des diverses méthodes au cas des essais de pénétration à Zwijnaarde	230
a-1. Généralités	230

a-2. Détails des calculs	231		
1. Méthode L.G.M.	231	VI. Application de la méthode R.I.G. au cas	<i>fasc. 5</i>
2. Méthode de Meyerhof amendée	237	des essais de l'I.R.A.B.A. avec des sables	
3. Méthode R.I.G.	246	de moyenne et faible compacité	321
α) Calcul des valeurs dites		a-1. Généralités	321
homogènes $d_g^{(1)}$	247	a-2. Sable de compacité moyenne	321
β) Influence du gradient		a-3. Sable de faible compacité	321
d'accroissement ou de décroissement	247		<i>fasc. 6</i>
β-1. Valeurs descendantes $d_{g,j+1}$	247	VII. Comparaison des capacités portantes de	
β-2. Valeurs montantes $d_{g,q+1}$	257	rupture par résistance à la base calculées	
γ) Homogénéisation	258	par la méthode R.I.G. avec les valeurs dé-	
4. Comparaison des valeurs expérimentales et des valeurs calculées des capacités portantes de rupture pour les pieux d'essais de Zwijnaarde	260	duites d'essais de chargement sur pieux	351
5. Calcul des valeurs de $d_g$ pour des pieux $\varnothing = 0,52$ m à Zwijnaarde	261	VIII. Essai à grande échelle de Rotterdam	385
		IX. Application de la méthode R.I.G. à quel-	
		ques profils de sols caractéristiques	386
		a. Sable de forte compacité à partir de	
		la surface	386
		b. Sable de compacité moyenne re-	
		posant sur une couche d'argile	
		consistante	390
		c. Argile tertiaire consistante	:
		X. Conclusion	402
		Remerciements	403
		Bibliographie	403

SAMENVATTING :

## METHODEN OM HET GRENSDRAAGVERMOGEN VAN EEN GEHEIDE PAAL UIT DE RESULTATEN VAN DIEPSONDERINGEN AF TE LEIDEN (3<sup>e</sup> deel en slot)\*

### VII. SPECIALE BELASTINGSPROEF OP EEN PAAL TE ROTTERDAM

*Destijds [15] werd te Rotterdam een proef verricht op een speciale paal, waarvan de weerstand aan de basis afzonderlijk kon worden gemeten. Deze paal werd weggedrukt op een plaats waar tevoren een diepsondering was verricht. Op de figuur 59 geeft de curve  $C_{k,a}$  de gemeten weerstanden met een conus  $\varnothing 3,6$  en de curve  $E_c$  de gemeten eenheidsweerstand aan de basis van de paal  $\varnothing 42,6$  cm.*

(\*) Voor de aanvang zie n<sup>o</sup> 4/1971/72, blz. 261 en het 1<sup>e</sup> vervolg n<sup>o</sup> 5/1971/72, blz. 331.

*De curve MNP geeft de berekende weerstanden  $d_g$  met de methode R.I.G., en de curve SUT der figuur 60 de weerstanden verkregen met de methode LGM.*

*In het gebied van de teruglopende weerstanden geven beide methodes te lage waarden.*

*Het verschil tussen de proefondervindelijke en de berekende waarden komt voort van het feit dat de invloed naar boven toe van de minder weerstand-biedende insluiting welke zich op 21 m diepte voordoet wordt overschat. Dit blijkt duidelijk uit het verloop van de curve  $d_{g,j+1}$  waarin deze invloed niet voorkomt, en welke vrij behoorlijk met de curve  $E_c$  aansluit.*