

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

(1^{re} 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 :

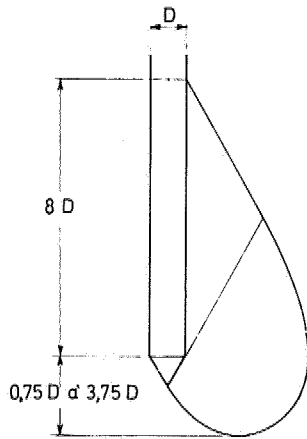


Fig. 1.

- 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).

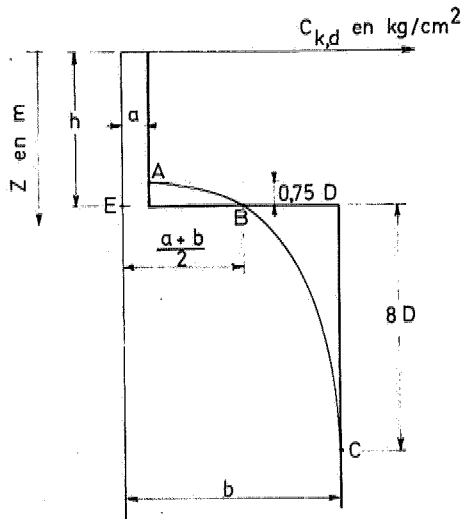


Fig. 2.

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 $\alpha\alpha$.

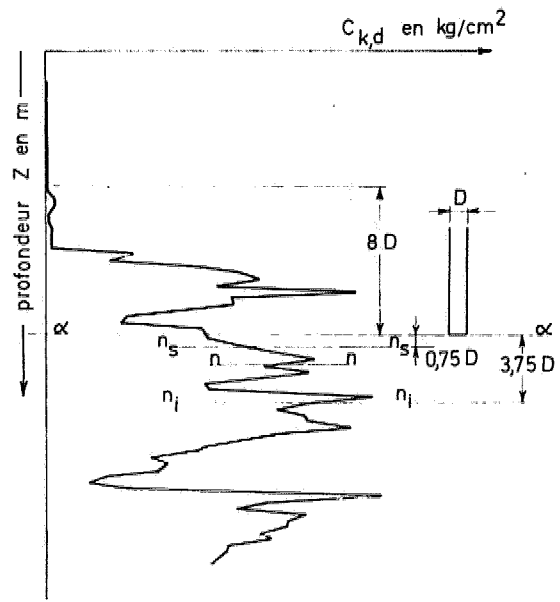


Fig. 3.

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 a 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 $\alpha\alpha$ 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 entretances 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.

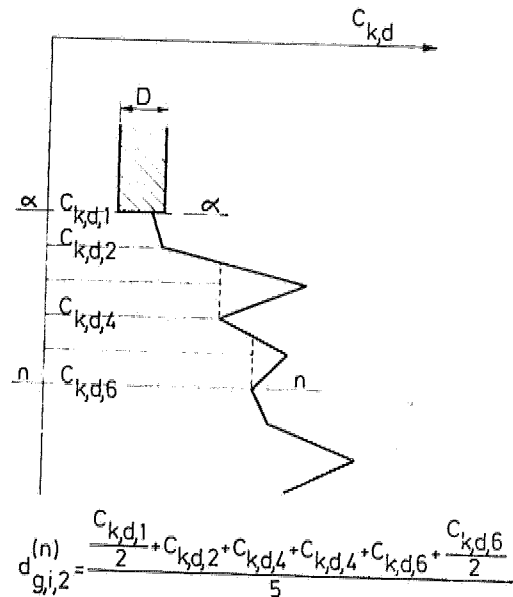
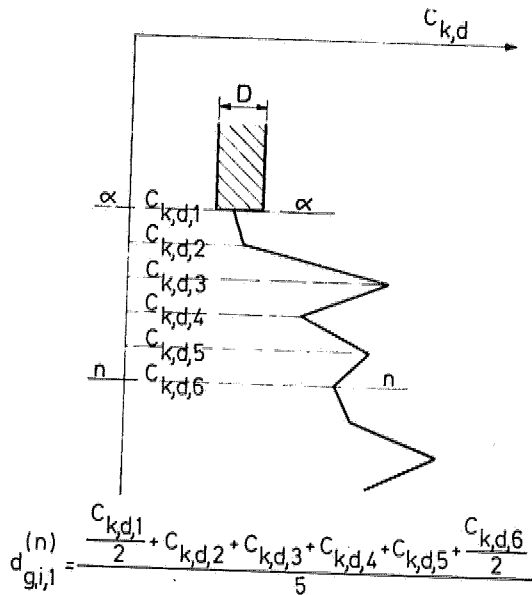


Fig. 4a et 4b.

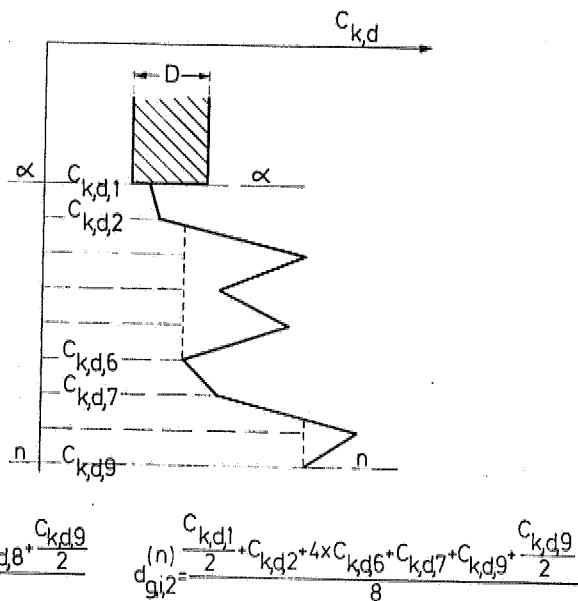
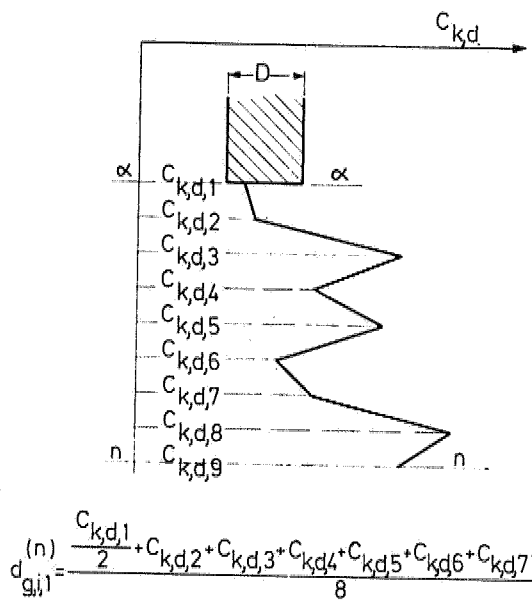


Fig. 5a et 5b.

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 $n_s n_s$ (0,75 D) et $n_1 n_1$ (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 $n_1 n_1$ 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 $n_1 n_1$ (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 $C_{k,d,1}$.

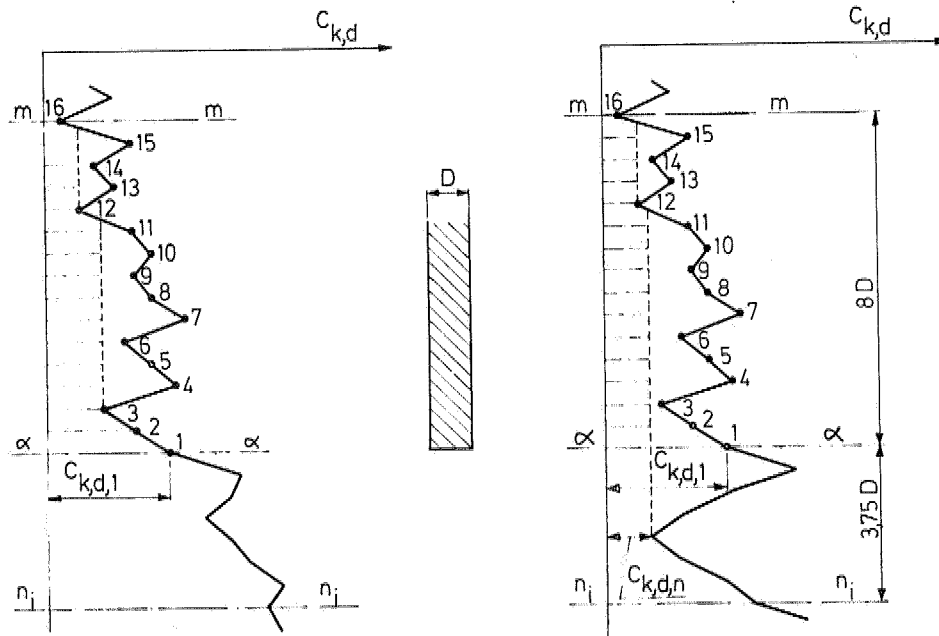


Fig. 6a et 6b.

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 kg/cm². Considérons le diagramme idéalisé de la figure. 7.

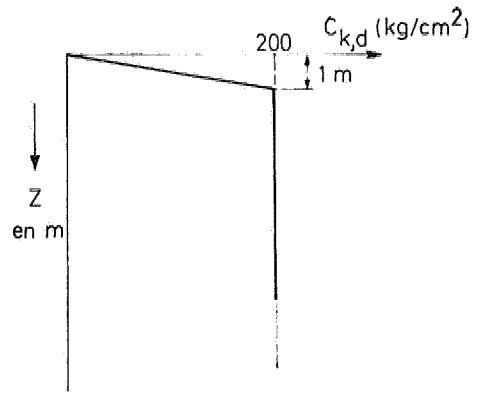


Fig. 7.

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 kg/cm² 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):

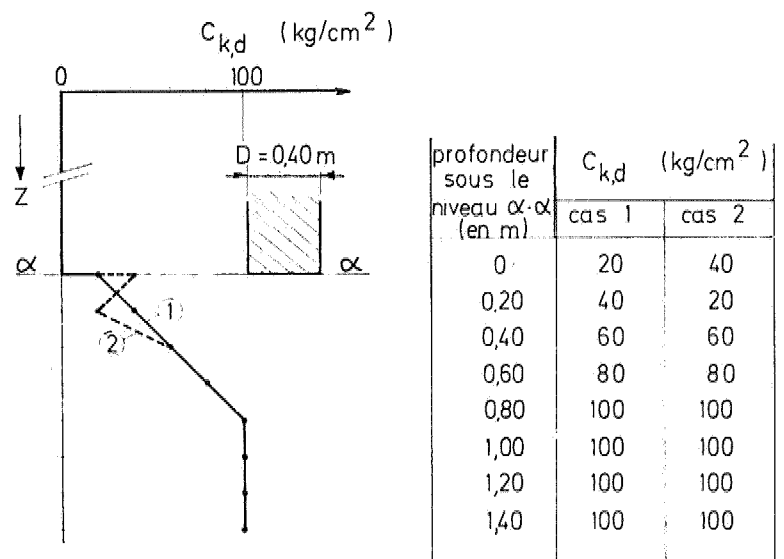


Fig. 8.

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^e cas:

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

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-

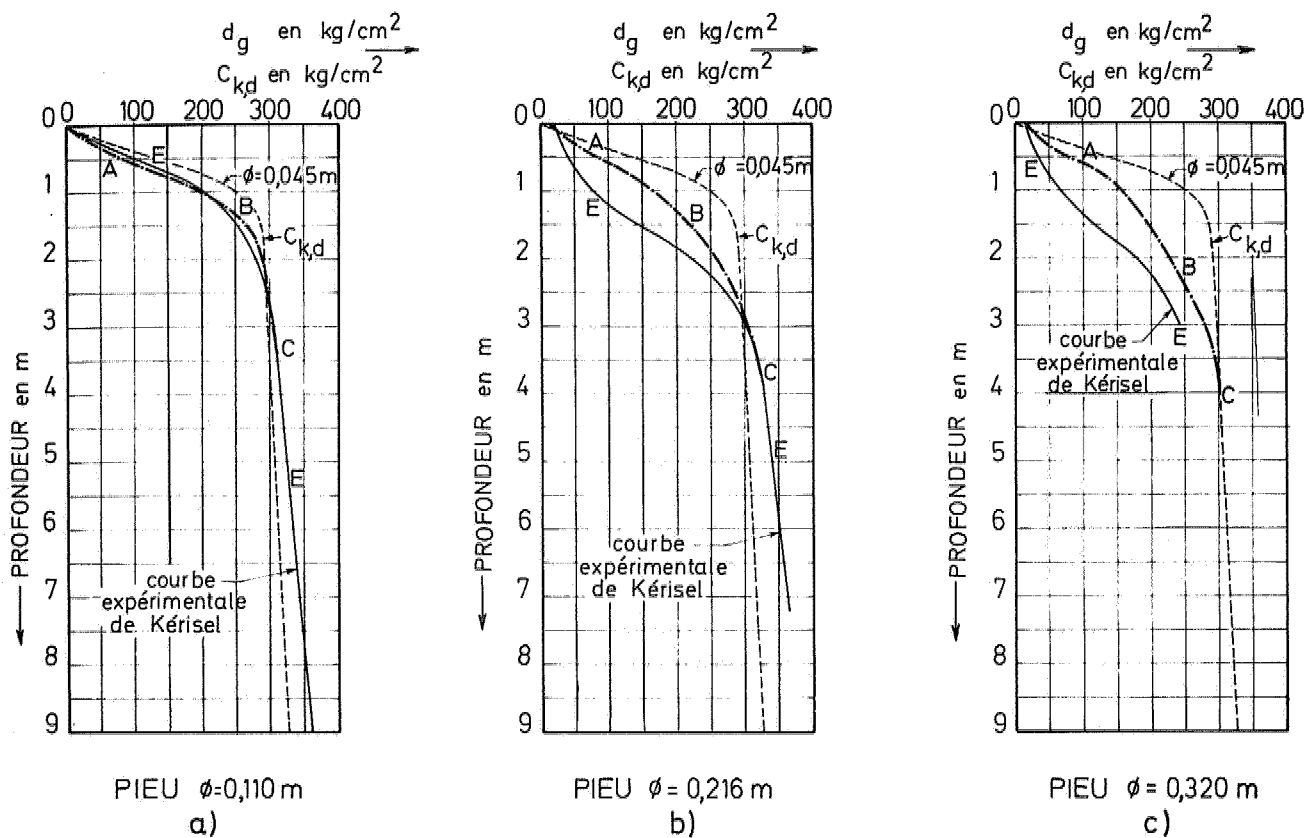


Fig. 9.

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.

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

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

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

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

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

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

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

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	
		méthode L.G.M.		méthode MEYERHOF non amendée		méthode MEYERHOF amendée		méthode R.I.G.		valeurs expérimentales										
profondeur h	$C_{k,d}$ \varnothing 0,045 m	$d_{g,i} = d_{g,i,1} = d_{g,i,2}$	$d_{g,i,3}$	$d_g = \frac{d_{g,i,1} + d_{g,i,3}}{2}$	$C_{k,d,m}$	$\frac{H}{10D}$	$d_g = C_{k,d,m} \times \frac{H}{10D}$	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g
m	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
0	0	12	0	6	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,10	24	34,5	1,33		11,5	0,091	1,05		11,5	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
0,20	45	60	5,17	32,6	24,0	0,182	4,37		40,7	0,273	11,11	7,68	3,14	2,586	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14
0,30	75	87,5	11,83		40,7	0,273	11,11		62,3	0,364	22,68	14,91	7,68	4,405	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68	7,68
0,40	100	115	21,56	68,3	62,3	0,364	22,68		88,5	0,455	40,27	35,20	14,91	4,405	14,91	14,91	14,91	14,91	14,91	14,91
0,50	130	143,5	34,33		88,5	0,455	40,27		116,2	0,545	63,33	55,38	35,20	5,538	35,20	35,20	35,20	35,20	35,20	35,20
0,60	157	173,5	50,28	111,9	116,2	0,545	63,33		145,3	0,636	92,41	81,6	55,38	6,745	55,38	55,38	55,38	55,38	55,38	55,38
0,70	190	205	69,55		145,3	0,636	92,41		172,0	0,727	125,04	110,4	81,6	9,745	81,6	81,6	81,6	81,6	81,6	81,6
0,80	220	227,5	92,33	159,9	172,0	0,727	125,04		197,5	0,818	161,56	143,4	110,4	12,504	110,4	110,4	110,4	110,4	110,4	110,4
0,90	235	244	117,61		197,5	0,818	161,56		220,0	0,909	199,98	179,9	143,4	16,156	143,4	143,4	143,4	143,4	143,4	143,4
1,00	253	258	143,38	200,7	220,0	0,909	199,98		239,3	1,000	239,3	200,7	179,9	20,036	179,9	179,9	179,9	179,9	179,9	179,9
1,10	263	268	159,89		239,3	1,000	239,3		254,2		254,2	239,3	200,7	23,93	200,7	200,7	200,7	200,7	200,7	200,7
1,20	273	276	191,33	233,7	254,2		254,2		264,8		264,8	254,2	200,7	26,48	200,7	200,7	200,7	200,7	200,7	200,7
1,30	279	281,5	212,28		264,8		264,8		273,5		273,5	264,8	200,7	27,35	200,7	200,7	200,7	200,7	200,7	200,7
1,40	284	285,5	230,78	258,12	273,5		273,5					273,5	200,7	28,55	200,7	200,7	200,7	200,7	200,7	200,7

150	287	2885	24656	2685	2797	2797	22340	24747	258
160	290	2905	25933	2685	2890	2890	23943	24747	258
170	291	2915	26883	2841	2872	2872	25290	27553	270
180	292	29225	27594	2841	2894	2894	26499	27553	270
190	2925	29275	28517	2892	2909	2909	27435	28988	280
200	293	29325	28517	2892	2920	2920	28168	28988	280
210	2935	29375	29375	2921	2927	2927	28508	294	287
220	294	29425	28994	2921	29325	29325	28796	294	287
230	2945	2945	29375	2938	29375	29375	28991	295	296
240	295	29525	29299	2938	29425	29425	29145	295	296
250	2955	2955	29372	2949	29475	29475	29269	296	300
260	296	29625	29372	2949	29525	29525	29365	296	300
270	2965	2965	29475	298	29575	29575	29436	297	304
280	297	29725	29475	298	29625	29625	29488	297	304
290	2975	2975	29575	297	29675	29675	29538	298	307
300	298	29825	29575	297	29725	29725	29588	298	307
310	2985	2985	29675	298	29775	29775	29638	299	310
320	299	29925	29675	298	29825	29825	29688	299	310
330	2995	2995	29775	299	29875	29875	29738	300	312
340	300	30025	29775	299	29925	29925	29788	300	312
350	3005	3005	29875	300	29975	29975	29838	301	313
360	301	30125	29875	300	30025	30025	29888	301	313
370	3015	3015	29875	300	30075	30075	29938	301	313

380	302	302,25	299,75	301	301,25	301,25	301,25	299,88	302	314
390	302,5	303,25	300,75	302	301,75	301,75	301,75	300,38	303	315
400	303	304,25	301,75	303	302,25	302,75	302,75	300,88	304	317
410	303,5	304,25	301,75	303	302,75	303,25	303,25	301,38	304	317
420	304	304,25	301,75	303	303,25	303,75	303,75	301,88	305	319
430	304,5	305,25	302,75	304	303,75	304,25	304,25	302,38	305	319
440	305	305,25	302,75	304	304,25	304,75	304,75	302,88	306	321
450	305,5	306,25	303,75	305	304,75	305,25	305,25	303,38	306	321
460	306	306,25	303,75	305	305,25	305,75	305,75	303,88	307	323
470	306,5	307,25	304,75	306	305,75	306,25	306,25	304,38	307	323
480	307	307,25	304,75	306	306,25	306,75	306,75	304,88	308	325
490	307,5	308,25	305,75	307	306,75	307,25	307,25	305,38	308	325
500	308	308,25	305,75	307	307,25	307,75	307,75	305,88	309	327
510	308,5	309,25	306,75	308	307,75	308,25	308,25	306,38	309	327
520	309	309,25	306,75	308	308,25	308,75	308,75	306,88	310	329
530	309,5	310,25	307,75	309	308,75	309,25	309,25	307,38	310	329
540	310	310,25	307,75	309	309,25	309,75	309,75	307,88	311	331
550	310,5	311,25	308,75	310	309,75	310,25	310,25	308,38	311	331
560	311	312,25	308,75	310	310,25	310,75	310,75	308,88	312	333
570	311,5	312,25	309,75	311	310,75	311,25	311,25	309,38	312	333
580	312	313,25	309,75	311	311,25	311,75	311,75	309,88	313	335
590	312,5	313,25	310,75	312	311,75	312,25	312,25	310,38	313	335
600	313	313,25	310,75	312	312,25	312,75	312,75	310,88	313	335

TABLEAU I-b. — Pieu Ø 0,216 m. — Essais de l'IRABA.

1	2	3			4			5			6			7			8			9			10			11		
		méthode L.G.M.			méthode MEYERHOF			non amendée			amendée			méthode R.I.G.			valeurs expérimentales											
		$d_{g,i} =$ $d_{g,i,1} = d_{g,i,2}$	$d_{g,s}$	$d_g =$ $\frac{d_{g,i,1} + d_{g,i,2}}{2}$	$C_{k,d,m}$	$\frac{H}{10D}$	$d_g =$ $C_{k,d,m} \times \frac{H}{10D}$	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g	d_g
m	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	
0	0	22,5	0	11,25	7,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,20	45	72,5	2,5	37,5	24,2	0,093	225	2,25	2,25	20,28	26																	
0,40	100	128,5	196	69,6	50,3	0,185	931	6,72	29,74	35																		
0,60	157	138,5	248	106,7	87,0	0,278	2419	16,54	33,66	46																		
0,80	220	236,5	458	141,2	129,2	0,370	4780	31,49	37,67	60																		
1,00	253	263	721	167,6	174,7	0,463	8089	52,03	51,73	75																		
1,20	273	279,5	1013	189,9	214,5	0,556	11926	77,10	63,30	98																		
1,40	284	287	132,2	209,6	246,2	0,648	15954	102,96	76,91	125																		
1,60	290	291	164,1	227,6	268,7	0,741	19911	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	281,3	289,9	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	272,24	300																		
3,20	299	299,5	294,1	296,8	297,5		297,5	272,02	285,34	308																		
3,40	300	300,5	295,4	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	304,82	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	303,6	306	306,5		306,5	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
profondeur h	$C_{k,d}$ $\phi 0,045\text{ m}$	méthode L.G.M.			méthode MEYERHOF			méthode R.I.G	valeurs expérimentales					
		$d_{g,i} =$ $d_{g,i,1} = d_{g,i,2}$	$d_{g,s}$	$d_g =$	$C_{k,d,m}$	$\frac{H}{10D}$	$d_g =$			d_g				
				$\frac{d_{g,i,1} + d_{g,i,2}}{2}$			$C_{k,d,m} \times \frac{H}{10D}$							
m	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²		kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²				
0	0	22,5	0	11,25	16,1	0	0	0						
0,20	45	72,5	1,73	37,12	33,6	0,063	2,11	2,11	18,99	22				
0,40	100	128,5	7,31	67,91	68,0	0,125	7,25	5,63	25,88	30				
0,60	157	188,5	17,20	102,85	86,1	0,188	16,19	12,22	27,26	40				
0,80	220	236,5	31,69	134,10	116,44	0,250	29,11	20,90	29,79	54				
1,00	253	263	49,88	156,44	148,0	0,313	46,32	32,67	41,73	67				
1,20	273	278,5	70,11	174,31	180,22	0,375	67,58	47,03	49,54	85				
1,40	284	287	91,54	189,27	212,67	0,438	93,15	63,62	57,69	103				
1,60	290	291	113,62	202,31	240,22	0,500	120,11	81,89	67,03	127				
1,80	292	292,5	136,0	214,25	261,78	0,563	147,38	100,19	77,83	155				
2,00	293	293,5	158,5	226,0	277,11	0,625	173,19	118,56	90,37	177				
2,20	294	294,5	181,08	237,79	285,66	0,688	196,47	135,81	104,42	196				
2,40	295	295,5	203,73	249,61	290,44	0,750	217,83	151,15	120,43	212				
2,60	296	296,5	226,38	261,44	293,22	0,813	238,39	166,41	139,31	224				
2,80	297	297,5	247,57	272,52	294,89	0,875	258,03	181,23	151,18	234				
3,00	298	298,5	269,85	284,68	296	0,938	277,65	194,58	184,92	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	231,92	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	288,1	308,63					
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				308,83	313					

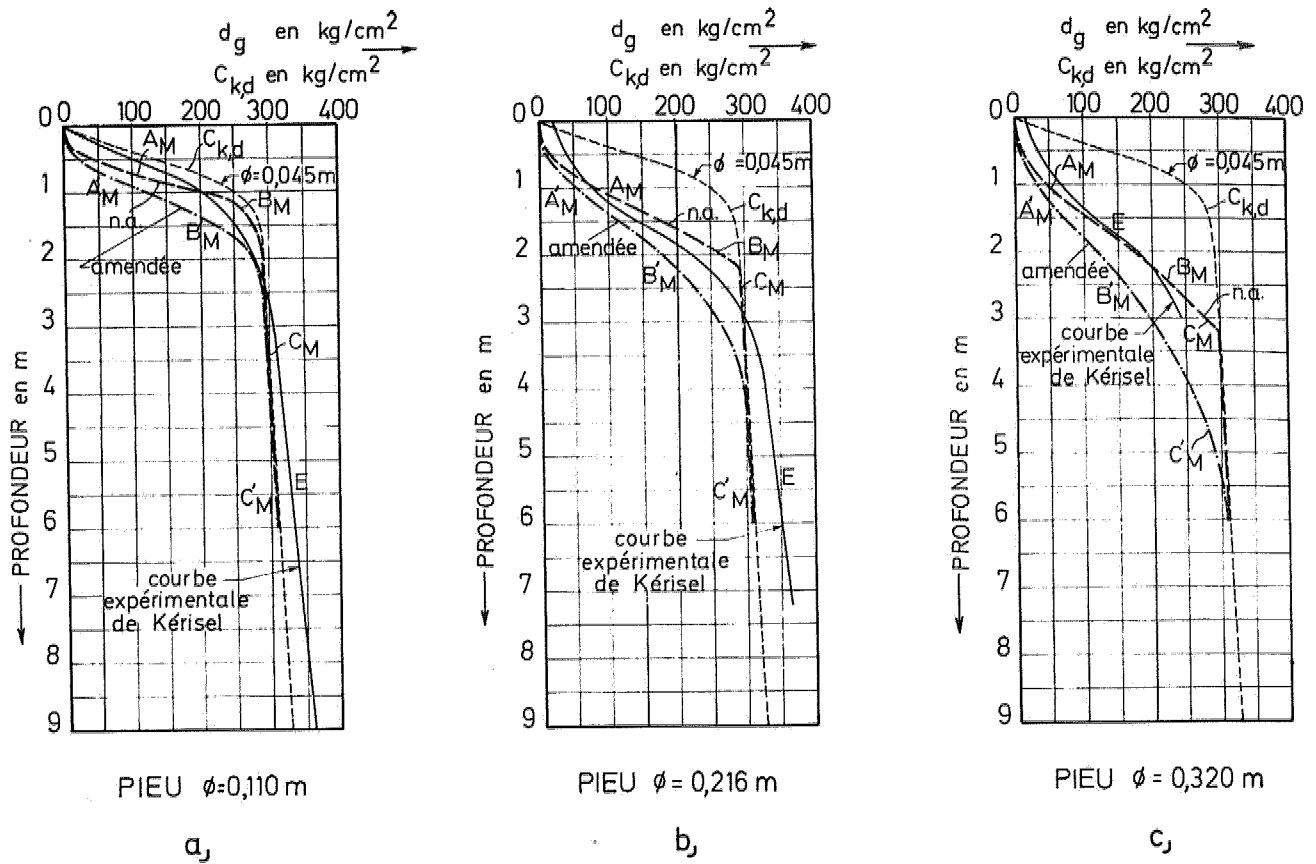


Fig. 10.

Courbes E: valeurs expérimentales.

Courbes A_M B_M C_M : valeurs obtenues avec la méthode de Meyerhof non amendée.

Courbes A'_M B'_M C'_M : 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 $4D$ au-dessus de la base, et la moyenne $C_{k,d,m,i}$ sur $1D$ 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 $10D$, 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 $h < 10D$ 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 $10D$ 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:

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

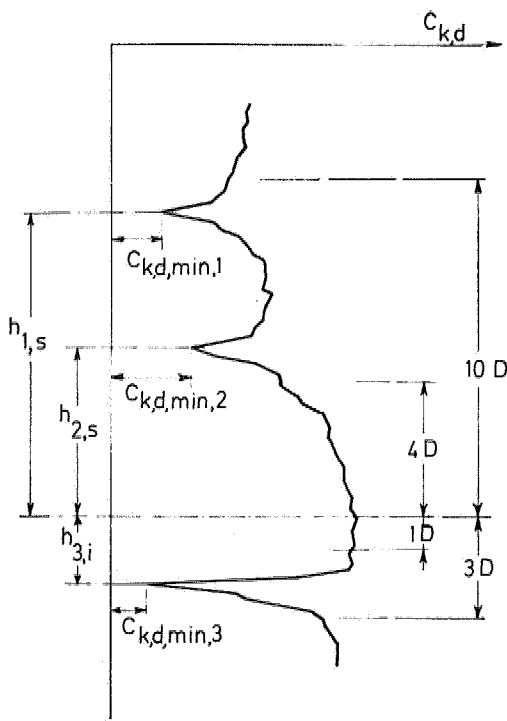


Fig. 11.

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

et on retient la plus petite des valeurs ainsi calculées.

Dans les formules (12), $C_{k,d,m}$ est la valeur moyenne entre 4 D au-dessus, et 1 D 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 4 D, tout en admettant que le pieu doit pénétrer d'une profondeur de 10 D 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 1 D. 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 $2,5 \times 1 D = 2,5 D$ au-dessous de la base. Par précaution nous augmenterons cette valeur à 3 D.

Si à des profondeurs $h < 3 D$ 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 3 D 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:

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

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

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

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

La notation v est un n° d'ordre pour tous les niveaux trouvés sur la hauteur 10 D 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 μ est un n° d'ordre pour tous les niveaux trouvés sur l'épaisseur 3 D 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 ²	kg/cm ²
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
μ	$h_{s,\mu}$	$\frac{h_{s,\mu}}{3D}$	$d'_{g,\min,\mu}$	$d_{g,\mu}$
	m		kg/cm ²	kg/cm ²
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 φ et φ' (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 $V''_{b,d} =$

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

$p_b =$ contrainte naturelle à la profondeur considérée.

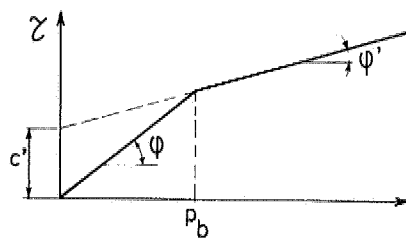


Fig. 12.

Si l'on se donne $\varphi = 30^\circ$, les relations (20) et (21) permettent de calculer l'angle de frottement apparent φ' 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:

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

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

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

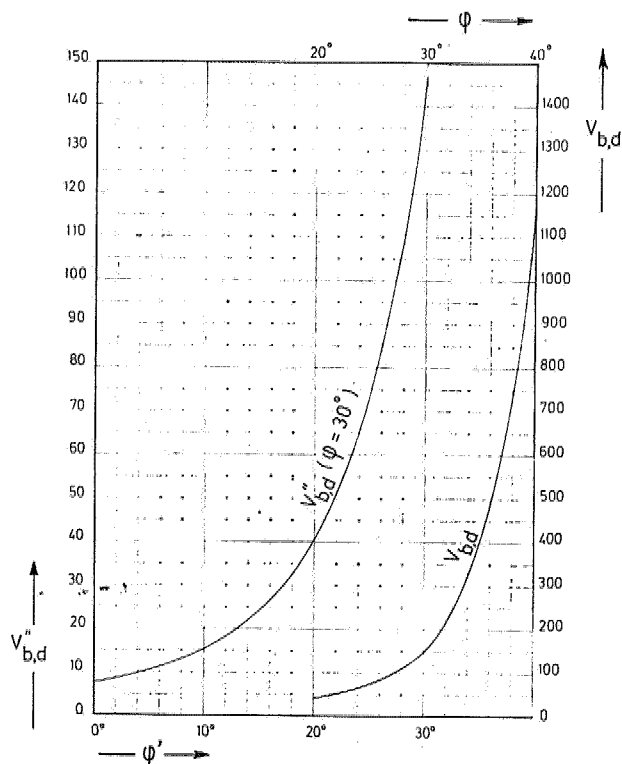


Fig. 13.

Les valeurs de φ et φ' 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 φ' .

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

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

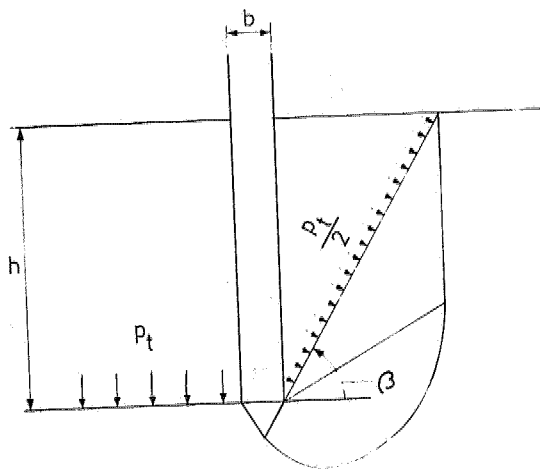


Fig. 14.

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.

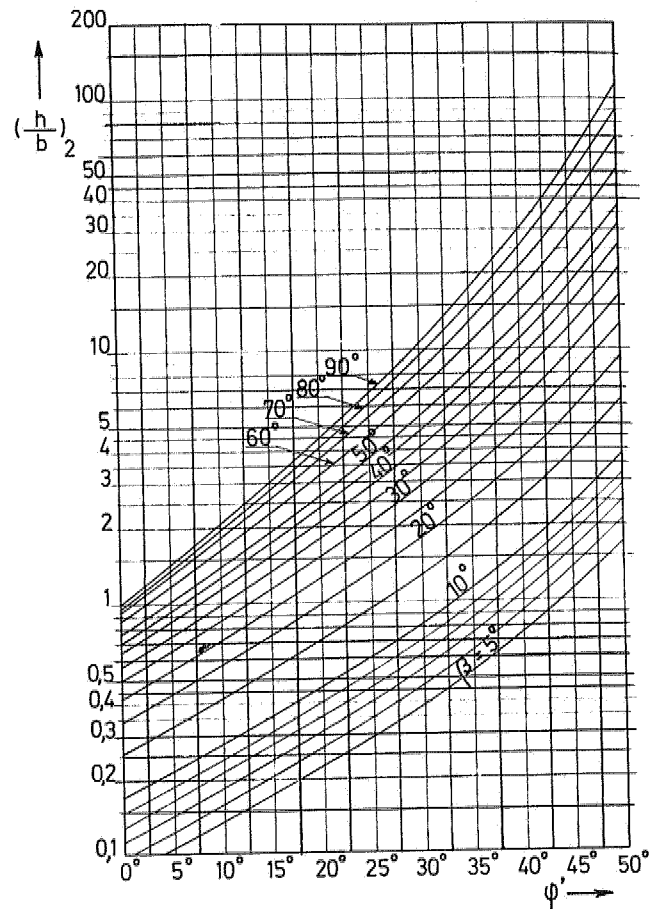
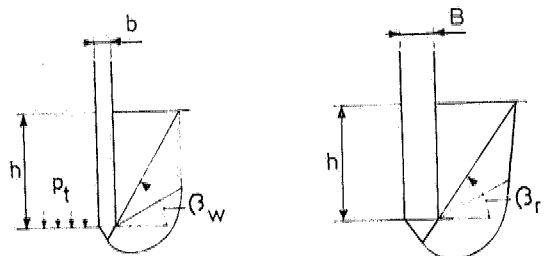


Fig. 15.

Cette figure donne $\frac{h}{b}$ en fonction de l'angle φ' avec l'angle β 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.

Essais de l'Iraba (Application des formules de Meyerho.

1	2	3	4	5			6	7	8			9	
				5a	5b	5c			PIEU $\phi = 0,110\text{ m}$				
				β_c					β_P				
				$\frac{h}{d}$	β_c	β_c			$\frac{h}{D}$	β_P	β_P		
profondeur h	$C_{k,d}$	P_L $(\gamma_k = 1,01/m^3)$	φ	$\frac{h}{d}$ $(d = 0,045\text{ m})$	β_c (voir fig. 15)	β_c (voir fig. 15)	$(\frac{h}{b})_{crit}^{(2)}$ $(\beta_c = 30^\circ)$	h_{crit}	$\frac{h}{D}$	β_P	β_P	$d_g^{(2)}$ form. (53)	k_g
m	kg/cm ²	t/m ²	degrés		degrés	radians		m		degrés	radians	kg/cm ²	kg
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,20	45	0,36	40°	4,44	23°30'	0,41			1,02	11°15'	0,20	31,63	
0,40	100	0,72	40°30'	8,89	37°30'	0,65			3,64	19°30'	0,34	58,89	
0,60	157	1,08	40°30'	13,33	50°	0,87			5,45	26°30'	0,46	77,94	
0,80	220	1,44	41°	17,77	58°	1,01			7,27	31°30'	0,55	98,88	
1,00	253	1,80	40°30'	22,22	70°	1,22			9,09	38°	0,66	97,20	
1,20	273	2,16	40°	26,66	83°	1,45			10,91	45°	0,79	90,18	
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					

T A B E A U II

Meyèrhofour les problèmes à 2 dimensions)

9			11	12a	12b	12c	13	14	15	16a	16b	16c	17	18	19
=0,110 m			PIEU $\phi = 0,216$ m						PIEU $\phi = 0,320$ m						
			β_P						β_P						
$d_g^{(2)}$	d_g	$d_g^{(2)}$	$\frac{h}{D}$	β_P	β_P	$d_g^{(2)}$	$d_g^{(2)}$	$d_g^{(2)}$	$\frac{h}{D}$	β_P	β_P	$d_g^{(2)}$	$d_g^{(2)}$	$d_g^{(2)}$	
m. (53)	form.	form. (55)		(voir fig. 15)		form. (53)	form. (54)	form. (55)		(voir fig. 15)		form. (53)	form. (54)	form. (55)	
g/cm ²	kg/	kg/cm ²		degrés	radians	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²		degrés	radians	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31,63			0,93	6°15'	0,11	27,20			0,63	4°	0,07	25,43			
58,89			1,05	11°	0,19	45,58			1,25	8°	0,14	41,85			
77,94			2,78	15°30'	0,27	56,34			1,88	11°	0,19	49,14			
98,88			3,70	19°	0,33	67,45			2,50	13°45'	0,24	57,68			
97,20			4,63	23°	0,40	62,35			3,13	17°	0,30	52,56			
90,18			5,56	27°	0,47	52,71			3,75	20°30'	0,36	43,83			
	83,		6,48	31°30'	0,55		48,84		4,38	23°	0,40		37,96		
	90		7,41	35°	0,61		49,38		5,00	26°	0,45		37,94		
	102		8,33	39°30'	0,69		52,88		5,63	30°	0,52		40,15		
	117,		9,26	44°	0,77		57,18		6,25	33°	0,59		42,95		
	140,		10,19	48°30'	0,85		63,24		6,88	37°	0,65		46,27		
	176,		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		56,16		
		221,28	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						208,56	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
		280,69						231,01	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				199,91

T A B E A U II

Meyèrhofour les problèmes à 2 dimensions)

9	11	12a	12b	12c	13	14	15	16a	16b	16c	17	18	19	
=0,110 m		PIEU $\phi = 0,216$ m						PIEU $\phi = 0,320$ m						
$d_g^{(2)}$	d_g	$d_g^{(2)}$	β_P			$d_g^{(2)}$	$d_g^{(2)}$	$d_g^{(2)}$	β_P			$d_g^{(2)}$	$d_g^{(2)}$	$d_g^{(2)}$
			$\frac{h}{D}$	β_P	β_P				$\frac{h}{D}$	β_P	β_P			
m. (53)	form.	form. (55)	(voir fig. 15)		form. (53)	form. (54)	form. (55)	(voir fig. 15)		form. (53)	form. (54)	form. (55)		
g/cm ²	kg/	kg/cm ²		degrés	radians	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²		degrés	radians	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31,63			0,93	6°15'	0,11	27,20		0,63	4°	0,07	25,43			
58,83			1,05	11°	0,19	45,58		1,25	6°	0,14	41,85			
77,94			2,78	15°30'	0,27	56,34		1,88	11°	0,19	49,14			
98,88			3,70	19°	0,33	67,45		2,50	13°45'	0,24	57,68			
97,20			4,63	23°	0,40	62,35		3,13	17°	0,30	52,56			
90,18			5,56	27°	0,47	52,71		3,75	20°30'	0,36	43,83			
	83,		6,48	31°30'	0,55		48,84	4,38	23°	0,40		37,96		
	90		7,41	35°	0,61		49,38	5,00	26°	0,45		37,94		
	102		8,33	39°30'	0,69		52,88	5,63	30°	0,52		40,15		
	117,		9,26	44°	0,77		57,18	6,25	33°	0,59		42,95		
	140,		10,18	48°30'	0,85		63,24	6,88	37°	0,65		46,27		
	176,		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		56,16		
		221,28	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°	1,35		126,56	10,63	57°	0,99		73,82		
		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			12,50	68°	1,20		98,98		
		259,19	19,44	90°	1,57			185,75	72°	1,26		108,55		
		262,29	20,37	90°	1,57			192,28	75°	1,31		116,27		
		267,46						204,29	80°	1,40		131,71		
		270,08						209,56	83°	1,45		141,03		
		272,56						214,47	86°	1,50		151,05		
		276,40						222,97	90°	1,57			170,66	
		278,59						227,11	90°	1,57			176,72	
		280,69						231,01	90°	1,57			182,39	
		284,46						239,32	90°	1,57			195,14	
		286,35						242,67	90°	1,57			199,97	

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

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

d'où:

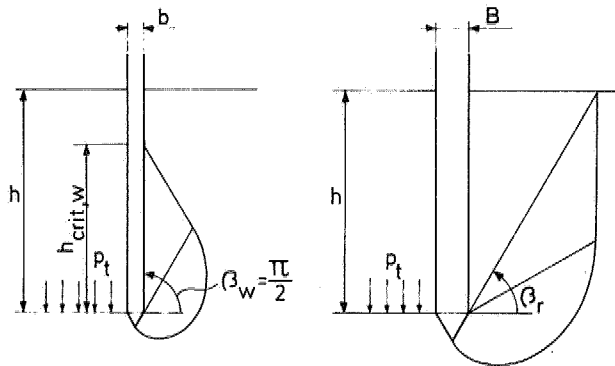
$$d_g = \frac{C_{w,d}}{e^{2(\beta_w - \beta_r) \text{tg } \varphi'}} \quad (28)$$

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):

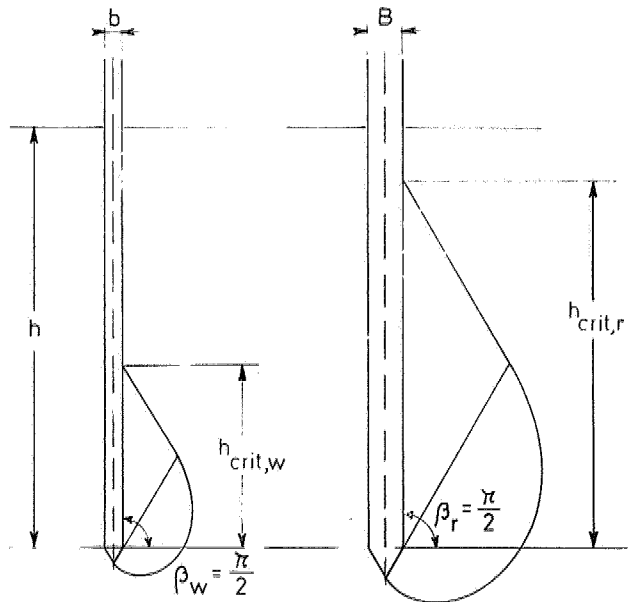


Fig. 18.

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

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

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:

$$d_g = \frac{C_{w,d}}{e^{2\left(\frac{\pi}{2} - \beta_r\right) \text{tg } \varphi'}} \frac{p_t}{p_t - \frac{\gamma_k h_{\text{crit},w}}{2}} \quad (40)$$

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

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:

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

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

$$\text{et pour } h \rightarrow \infty \quad p_t \rightarrow \infty \quad (50)$$

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

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

$$d_g^{(2)} = C_{k,d} \frac{p_t - \gamma_k \frac{D}{d} \frac{h_{crit}}{2}}{p_t - \gamma_k \frac{h_{crit}}{2}} \quad (55)$$

pour $h > h'_{crit} = \frac{D}{d} h_{crit}$

avec β_c = la valeur de l'angle β correspondant au cas du cône de diamètre d .

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

β_p = la valeur de l'angle β 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 ϕ 45 mm on a calculé les valeurs de d_g pour les pieux ϕ 110, ϕ 216, ϕ 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

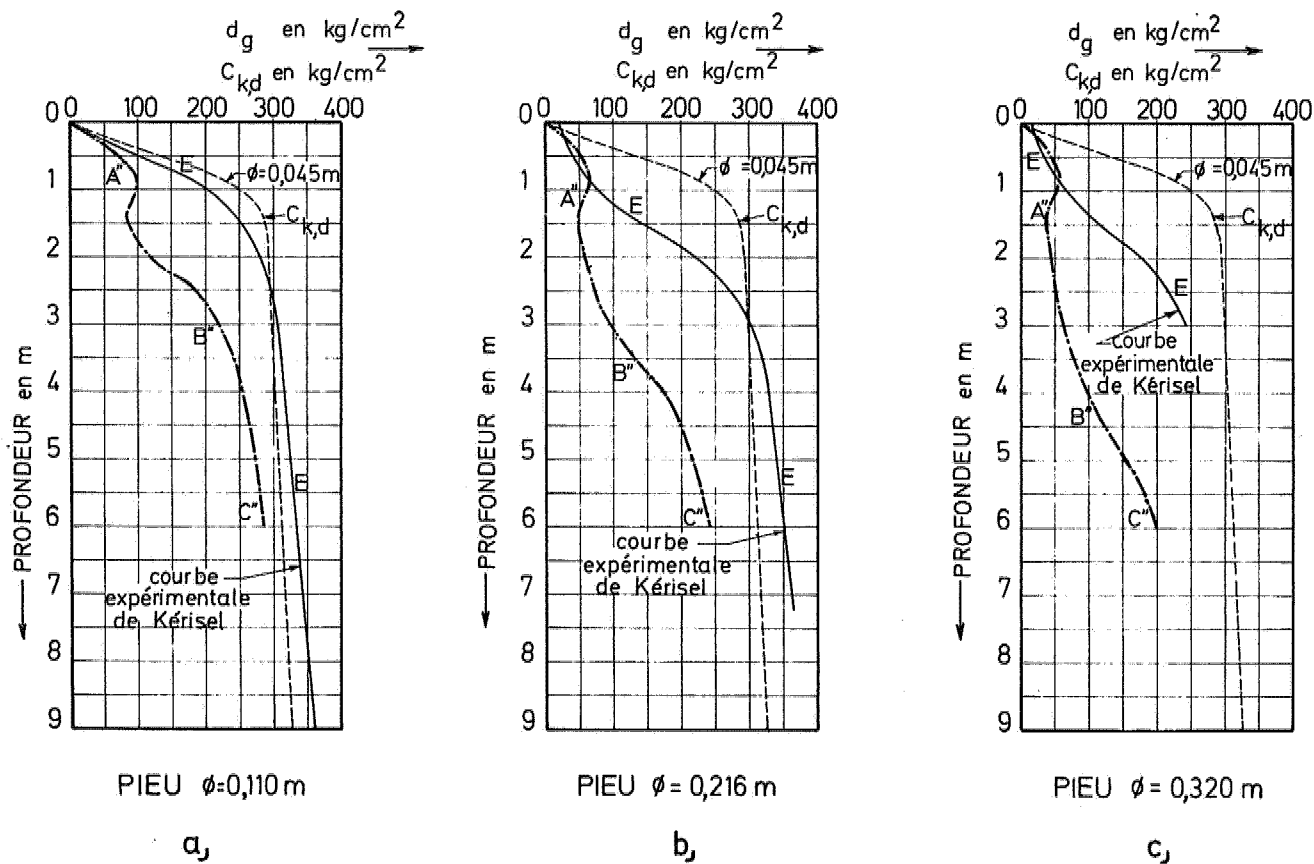
valeurs ainsi obtenues sont nettement inférieures aux valeurs réellement mesurées, représentées par les courbes EE.

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 φ' avec l'angle β 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_{crit} la résistance à la pointe $C_{k,d}$ est essentiellement déterminée par la densification, et que de ce fait à la profondeur h'_{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 β_c et β_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

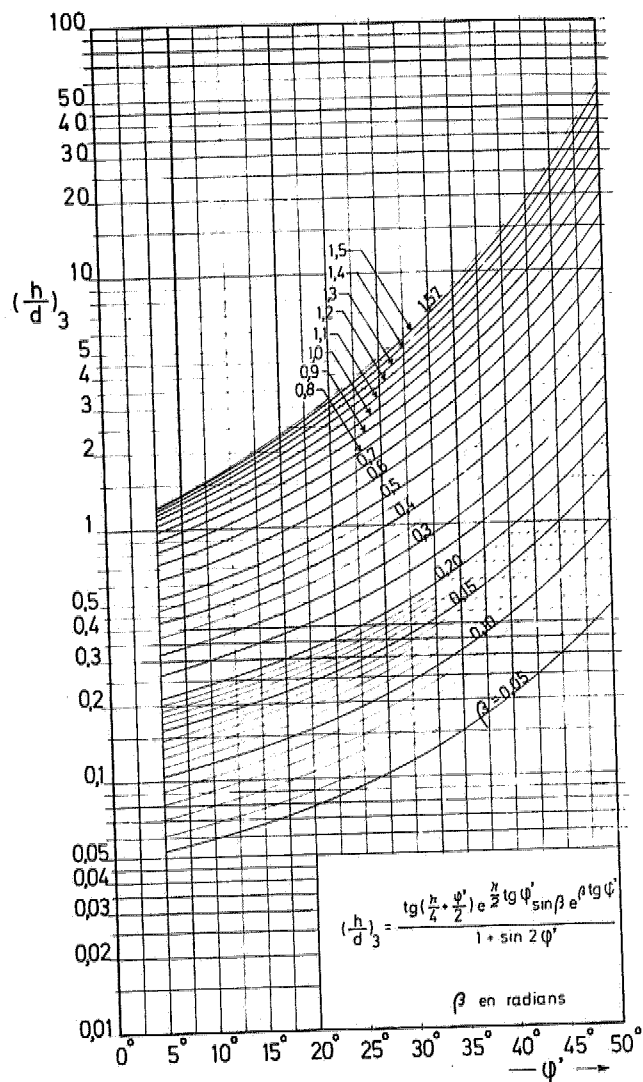


Fig. 20.

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-

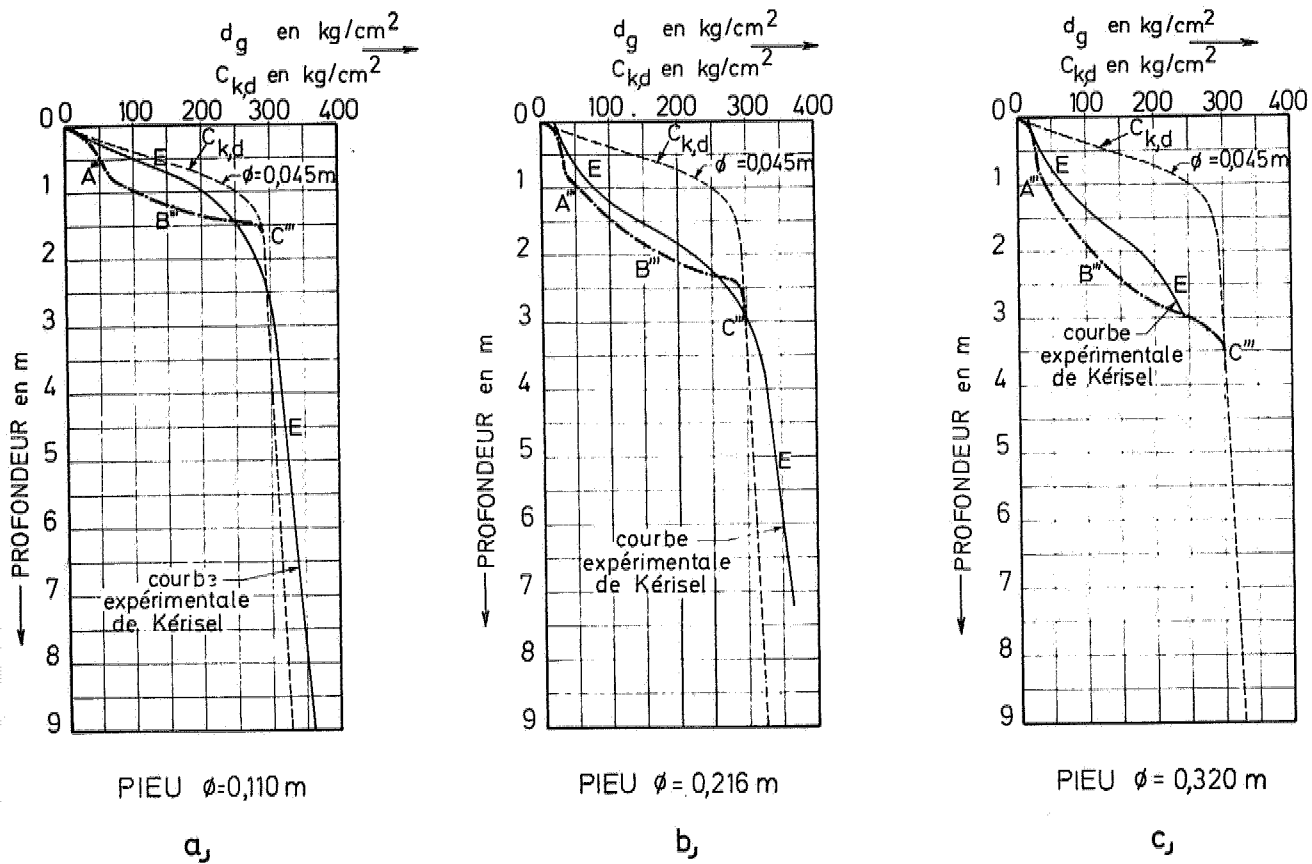


Fig. 21. Formules amendées de Meyerhof confrontées avec les essais de l'Iraba.

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:

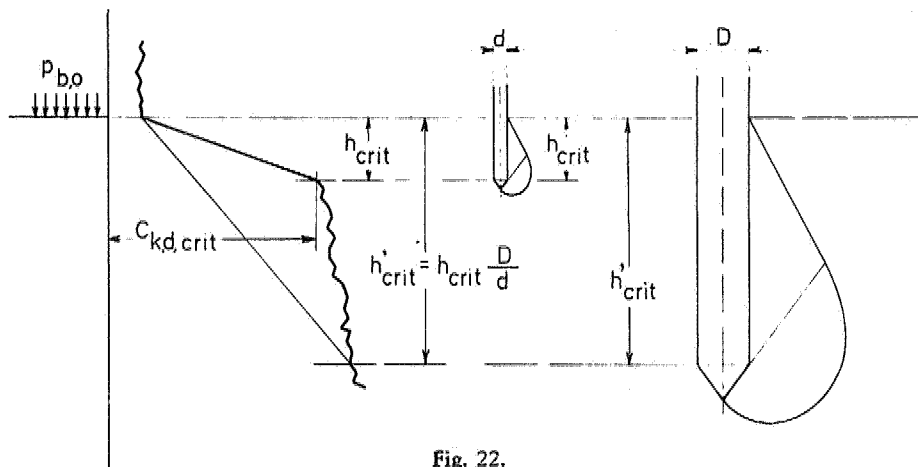


Fig. 22.

$$h'_{crit} = h_{crit} \frac{D}{d} \quad (63)$$

Cette hypothèse n'est pas strictement exacte, mais elle est située du côté de la sécurité [14].

On peut écrire:

$$C_{k,d,crit} = V_{b,d} \frac{p_{b,o} + p_{b,o} + \gamma_k h_{crit}}{2}$$

$$C_{k,d,crit} = V_{b,d} \left(p_{b,o} + \frac{\gamma_k h_{crit}}{2} \right) \quad (64)$$

où $V_{b,d}$ est un facteur de portance, fonction de l'angle ϕ' , et valable pour une fondation profonde, c.-à.-d. une fondation pour laquelle les caractéristiques de cisaillement des couches surmontant la couche résistante ne jouent plus aucun rôle.

Pour le pieu de diamètre D se trouvant à la profondeur h'_{crit} on a:

$$d_{g,crit} = V_{b,d} \left(p_{b,o} + \frac{\gamma_k h'_{crit}}{2} \right) \quad (65)$$

Dans les hypothèses faites, la valeur de $V_{b,d}$ de la formule (65) est la même que celle de la formule (64). Des formules (64) et (65) on déduit:

$$d_{g,crit} = \frac{p_{b,o} + \gamma_k \frac{h'_{crit}}{2}}{p_{b,o} + \gamma_k \frac{h_{crit}}{2}} C_{k,d,crit} \quad (66)$$

ou encore:

$$d_{g,crit} = \frac{1 + \frac{\gamma_k h'_{crit}}{2 p_{b,o}}}{1 + \frac{\gamma_k h_{crit}}{2 p_{b,o}}} C_{k,d,crit} \quad (67)$$

Soient (fig. 23):

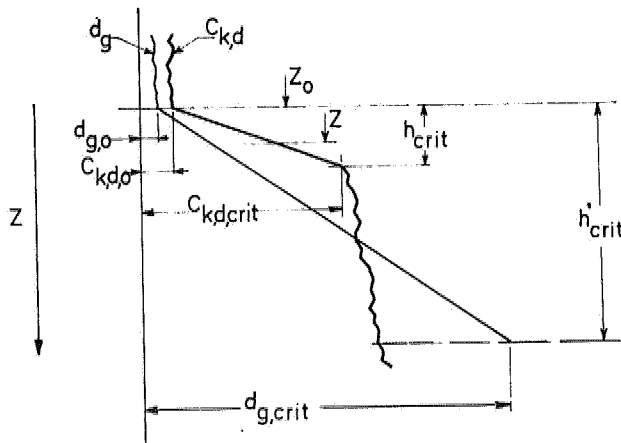


Fig. 23.

- z_0 = profondeur à partir de laquelle commence la couche résistante,
- $C_{k,d,o}$ = la résistance au cône de diamètre d à la profondeur z_0 ,
- $d_{g,o}$ = la résistance à la base du pieu à la profondeur z_0 .

A une profondeur z caractérisée par $h_{crit} + z_0 > z > z_0$ on obtient pour le cône:

$$C_{k,d} = C_{k,d,o} + (C_{k,d,crit} - C_{k,d,o}) \frac{z - z_0}{h_{crit}} \quad (68)$$

et pour le pieu:

$$d_g = d_{g,o} + (d_{g,crit} - d_{g,o}) \frac{z - z_0}{h_{crit}} \quad (69)$$

En introduisant (67) en (69) on trouve:

$$d_g = d_{g,o} + \left[\frac{1 + \frac{\gamma_k h'_{crit}}{2 p_{b,o}}}{1 + \frac{\gamma_k h_{crit}}{2 p_{b,o}}} C_{k,d,crit} - d_{g,o} \right] \frac{z - z_0}{h_{crit}} \quad (70)$$

$$d_g = d_{g,o} + \left[\frac{1 + \frac{\gamma_k h'_{crit}}{2 p_{b,o}}}{1 + \frac{\gamma_k h_{crit}}{2 p_{b,o}}} C_{k,d,crit} - d_{g,o} \right] \frac{z - z_0}{\frac{D}{d} h_{crit}} \quad (71)$$

$$\Delta d_g = d_g - d_{g,o} =$$

$$= \left[\frac{1 + \frac{\gamma_k h'_{crit}}{2 p_{b,o}}}{1 + \frac{\gamma_k h_{crit}}{2 p_{b,o}}} C_{k,d,crit} - d_{g,o} \right] \frac{z - z_0}{\frac{D}{d} h_{crit}} \quad (72)$$

pour $z - z_0 = h_{crit}$ on trouve:

$$\Delta d_g = \left[\frac{1 + \frac{\gamma_k h'_{crit}}{2 p_{b,o}}}{1 + \frac{\gamma_k h_{crit}}{2 p_{b,o}}} C_{k,d,crit} - d_{g,o} \right] \frac{1}{\frac{D}{d}} \quad (73)$$

Toutes les considérations précédentes valent pour le cas idéal du passage d'une couche homogène médiocre à une couche homogène résistante, et pour des conditions telles que les surfaces de rupture pour le petit cône et pour le grand pieu soient géométriquement semblables, lorsque l'on considère des profondeurs semblables (donc pas égales) au-dessous du niveau de séparation de la couche médiocre avec la couche résistante.

Cette condition n'est certainement pas remplie lorsque l'on se trouve à proximité de la surface du

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 ϕ et de ϕ' . 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:

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

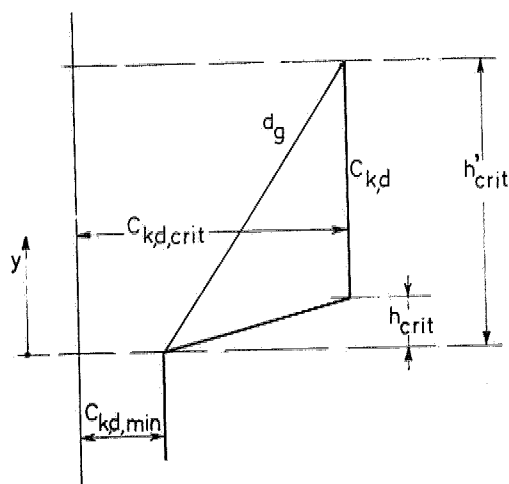


Fig. 24.

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

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

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

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

11^e colonne : les valeurs expérimentales d_g en kg/cm^2 .
Pieu $\varnothing 216$ mm ;

12^e à 17^e colonne.

Pieu $\varnothing 320$ mm ;

18^e à 23^e 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 <i>h</i>	<i>C_{k,d}</i>	<i>P_{b,i}</i> ($\gamma_k = 1,8 \text{ t/m}^3$)	$\varphi = \varphi'$ degrés	β_c (3 dimensionnel)		P I E U $\phi = 0,110 \text{ m}$						
				$\frac{h}{d}$ ($d = 0,45 \text{ m}$) (voir fig. 20)	β_c radians	β_p (3 dim.)		$d_g^{(1)}$ form. (62)	<i>A</i> form. (62)	$d_{g,i+1}$ form. (62)	d_g (valeurs homogénéisées)	d_g (valeurs expérimentales)
						$\frac{h}{D}$	β_p radians					
<i>m</i>	<i>kg/cm</i> ²	<i>t/m</i> ²						<i>kg/cm</i> ²		<i>kg/cm</i> ²	<i>kg/cm</i> ²	<i>kg/cm</i> ²
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'	8,88	1,05	3,64	0,57	44,05	1,481	41,98	44,05	65
0,60	157	1,08	40°30'	13,33	1,37	5,45	0,78	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	1,08	105,87	1,160	88,79	105,87	200
1,20	273	2,16	40°	26,66	1,57	10,91	1,25	159,56	1,131	126,32	147,41	230
1,40	284	2,52	40°			12,73	1,38	206,46	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	319
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	331
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

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

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

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:

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

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

PIEU $\phi = 0,216 \text{ m}$							PIEU $\phi = 0,320 \text{ m}$						
β_p (3 dim.)		$d_g^{(1)}$	A	$d_{g,j+1}$	d_g	d_g	β_p (3 dim.)		$d_g^{(1)}$	A	$d_{g,j+1}$	d_g	d_g
$\frac{h}{D}$	β_p						$\frac{h}{D}$	β_p					
(voir fig. 20)	Form. (82)	Form. (82)	Form. (82)	Form. (120)	(valeurs homogénéisées)	(valeurs expérimentales)	(voir fig. 20)	Form. (82)	Form. (82)	Form. (120)	(valeurs homogénéisées)	(valeurs expérimentales)	
radians	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	radians	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,33	0,135	20,28	4,100	20,28	20,28	26	0,63	0,14	18,49	7,111	18,49	18,49	22
1,85	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	29,79	1,873	29,79	29,79	54
4,63	0,68	55,22	1,422	46,21	51,73	75	3,13	0,515	41,77	1,679	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	49,54	85
6,48	0,88	89,21	1,292	69,34	76,91	125	4,38	0,67	62,71	1,470	49,20	57,69	103
7,41	1,00	113,31	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	113,59	185	5,63	0,85	90,98	1,359	66,60	77,87	155
9,26	1,25	176,11	1,200	124,35	139,84	225	6,25	0,94	107,55	1,322	77,22	90,37	177
10,19	1,38	227,32	1,181	153,52	177,73	245	6,88	1,04	128,43	1,291	89,68	104,42	196
11,11	1,54	287,73	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	233,63	277	8,13	1,21	170,35	1,244	118,37	138,31	224
12,96	1,57	297	1,141	245,86	255,36	290	8,75	1,32	202,76	1,226	137,72	161,18	234
12,89	1,57	288	1,131	264,86	272,24	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	277,87	1,197	184,97	207,74	
		300	1,115	297,06	295,03	316	10,63	1,57	300	1,185	208,96	228,26	
		301	1,109	299,94	300,94	321	11,25	1,57	301	1,175	229,29	245,66	
		302	1,103	302	302,5	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	340	
		310	1,072	310	310,5	344			310	1,115	310	344	
		311	1,069	311	311,5	346			311	1,111	311	346	
		312	1,067	312	312,5	348			312	1,107	312	348	
		313	1,064	313	313,5	350			313	1,104	313	349	

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

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

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

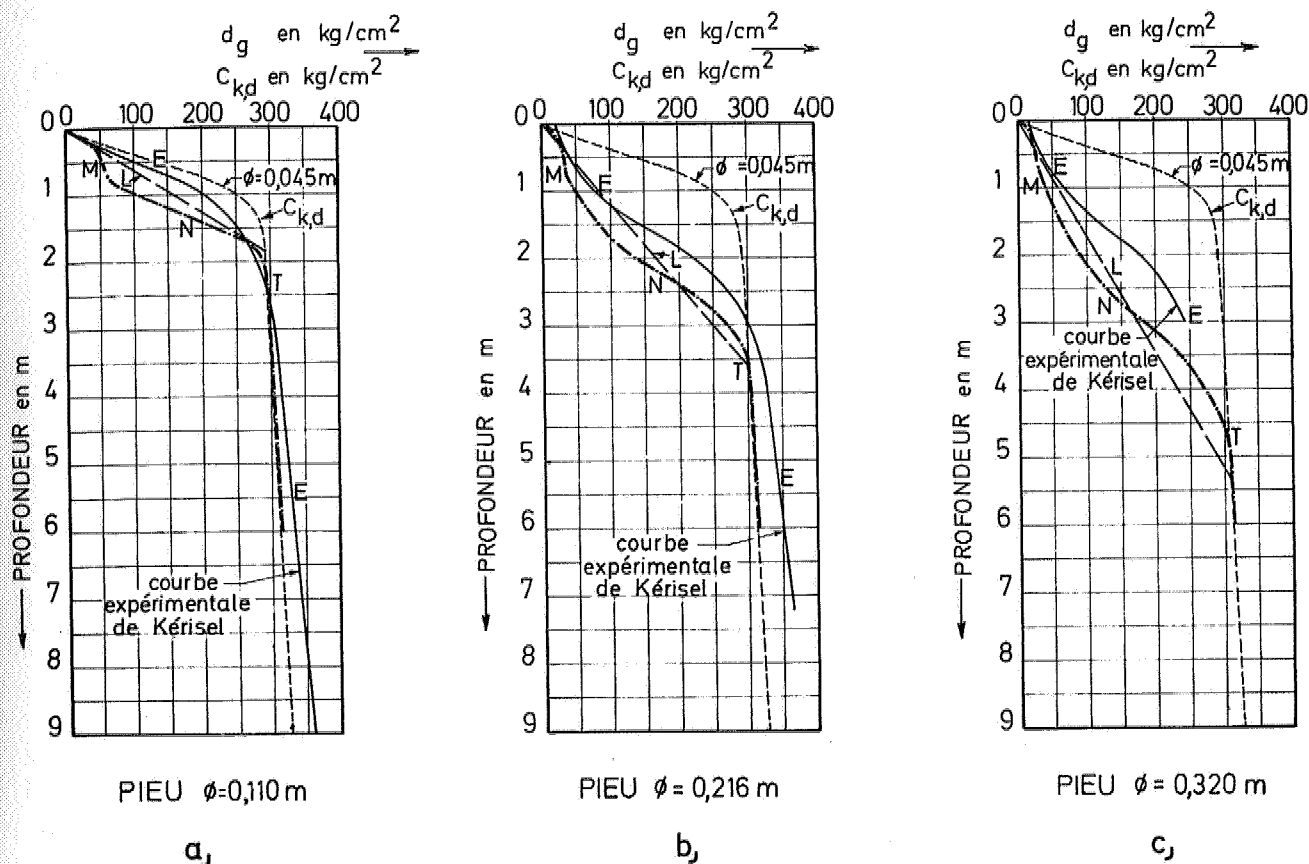


Fig. 25.

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 entretances « 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 :

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

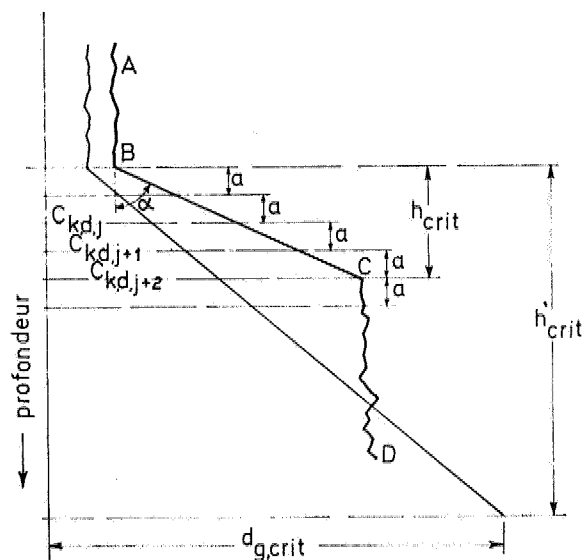


Fig. 26.

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):

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

Posons:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(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:

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

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 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.

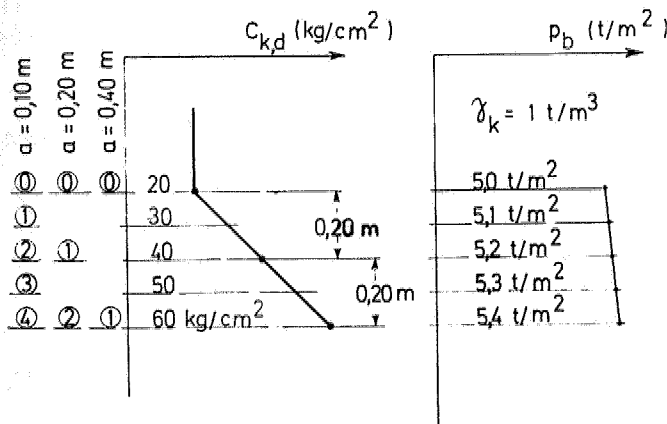


Fig. 27.

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 ²	A	$C_{k,d,j+1}$ kg/cm ²	$A C_{k,d,j+1}$ kg/cm ²	$d_{g,j}$ kg/cm ²
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 ²	A	$C_{k,d,j+1}$ kg/cm ²	$A C_{k,d,j+1}$ kg/cm ²	$d_{g,j}$ kg/cm ²
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 ²	A	$C_{k,d,j+1}$ kg/cm ²	$A C_{k,d,j+1}$ kg/cm ²	$d_{g,j}$ kg/cm ²
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 ²
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^{ère} colonne: les profondeurs au-dessous de la surface du sol,
- 2^e colonne: les valeurs des contraintes effectives naturelles $p_{b,j}$,
- 3^e colonne: les valeurs de $C_{k,d}$ en kg/cm² (voir droite fig. 29),
- 4^e à 8^e 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^e colonne du tableau V.

ESSAI DE PENETRATION XXXII à ANVERS

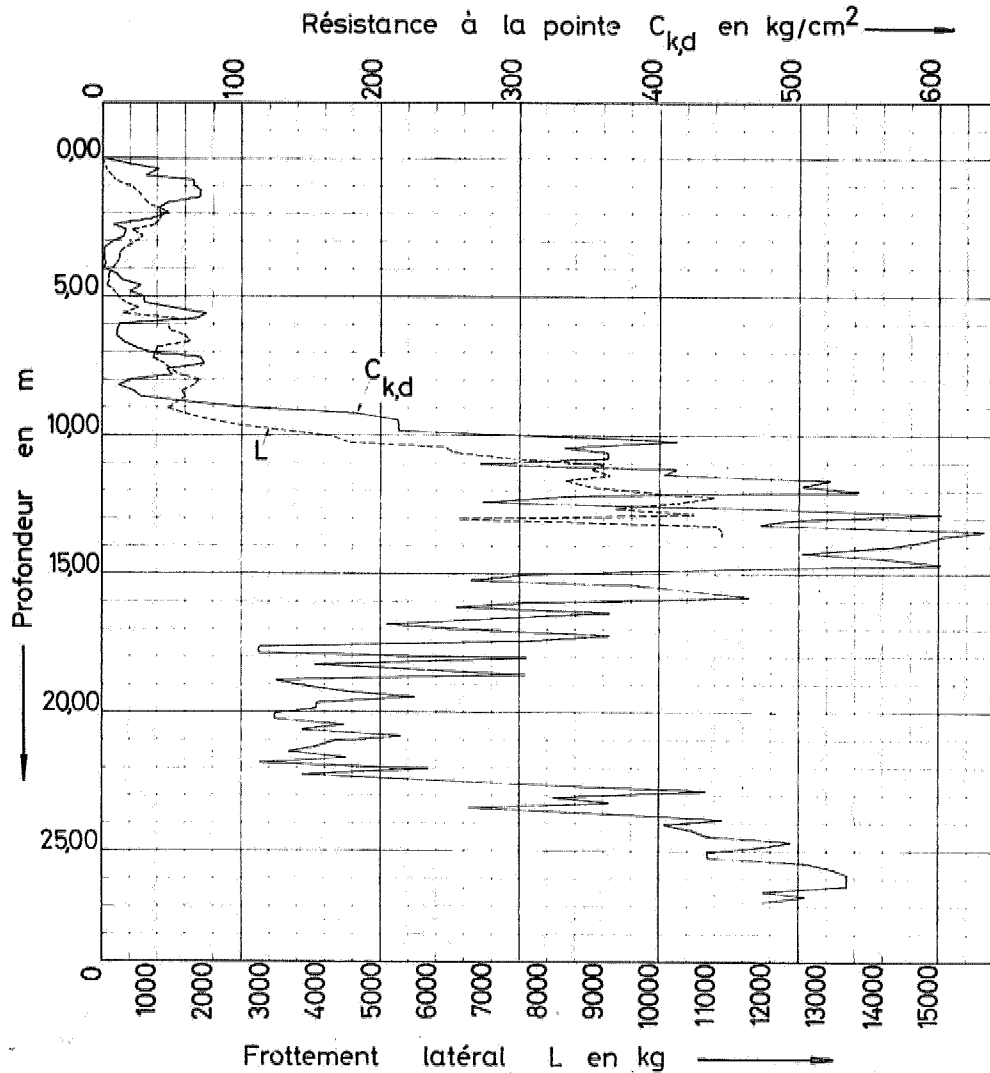


Fig. 28.

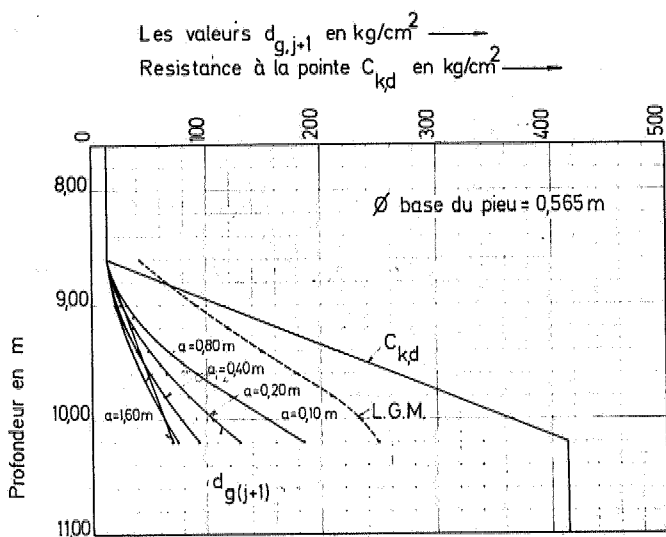


Fig. 29.

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 $a \leq 0,80$ m.

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

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

TABIEAU 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 ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
8,60	9,08	14	14	14	14	14	14	42,5
8,70	9,18	39	15,79					66,6
8,80	9,28	64	19,19	17,84				
8,90	9,38	89	24,09					91,2
9,00	9,48	114	30,39	25,71	22,67			
9,10	9,58	139	38,00					118,9
9,20	9,68	164	46,03	35,57				
9,30	9,78	189	55,05					147,7
9,40	9,88	214	65,14	48,99	39,00	35,20		
9,50	9,98	239	76,22					177,6
9,60	10,08	264	88,23	65,17				
9,70	10,18	289	101,11					208,6
9,80	10,28	314	120,80	83,92	62,36			
9,90	10,38	339	136,24					234,4
10,00	10,48	364	152,39	105,05				
10,10	10,58	389	168,20					248,8
10,20	10,68	414	185,69	128,47	92,77	74,43	70,88	
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/m². 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 $d_{b,j}$ 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

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

A un angle $\varphi' = 32^\circ 30'$ correspond une valeur $\left(\frac{h}{d}\right)_{crit} = 6,94$ et donc $h_{crit} = 6,94 \times 3,6 = 25$ 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 φ' déduit de l'essai de pénétration est inférieur à $32^\circ 30'$, les calculs se font avec $a = 0,20$ m. Si l'angle φ 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 φ 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 φ' 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:

$$h_{crit} = a \quad d_{g,h_{crit}}^{(1)} = d_{g,j+1}^{(1)}$$

$$h_{crit} = 2a \quad d_{g,h_{crit}}^{(1)} = d_{g,j+2}^{(1)}$$

$$h_{crit} = 3a \quad d_{g,h_{crit}}^{(1)} = d_{g,j+3}^{(1)}$$

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	φ' 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
$0,40$ m $\leq D < 0,60$ m	$< 32^\circ 30'$ $\geq 32^\circ 30'$	0,20 m 0,20 m et 0,40 m
$D \geq 0,60$ m	$< 32^\circ 30'$ $32^\circ 30' \leq \varphi' < 37^\circ 30'$ $\varphi' \geq 37^\circ 30'$	0,20 m 0,20 m 0,20 m et 0,40 m 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 φ' .

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 φ 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.

TABEAU 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	φ' 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
$0,40 \text{ m} < D < 0,60$ m	$< 27^\circ 30'$	0,20 m
$0,60 \text{ m} < D < 0,80$ m	$\geq 27^\circ 30'$	0,20 m et 0,40 m
	$< 27^\circ 30'$	0,20 m
$D \geq 0,80$ m	$27^\circ 30' \leq \varphi' < 35^\circ$	0,20 m et 0,40 m
	$\varphi' \geq 35^\circ$	0,20 m ; 0,40 m et 0,60 m
	$< 27^\circ 30'$	0,20 m
	$27^\circ 30' \leq \varphi' < 35^\circ$	0,20 m et 0,40 m
	$35^\circ \leq \varphi' < 40^\circ$	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

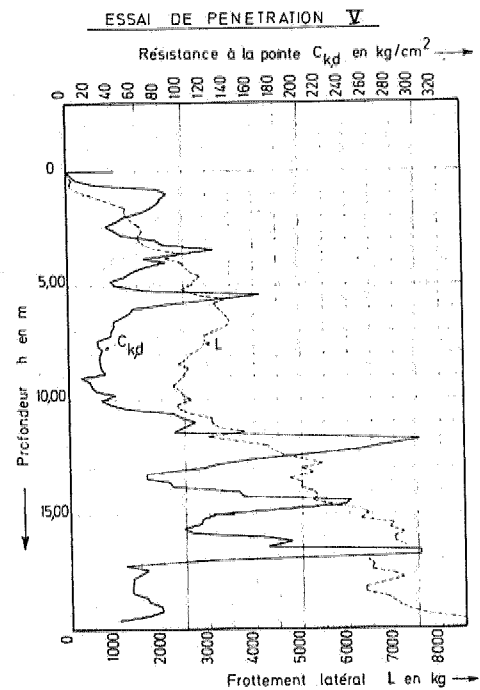


Fig. 30.

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 réelle m ²	d _g essai	
	totale	à la base		t/m ²	kg/cm ²
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_g 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_{k,d} exprimées en kg/cm² 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_{k,d} sont aussi renseignées à la 2^e colonne du tableau X.

1. Méthode L.G.M.

A titre d'exemple nous allons chercher la valeur d_g 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_{g,l,1}⁽ⁿ⁾ formule (4).

On doit successivement prendre la moyenne des valeurs C_{k,d} enregistrées

entre 7,66 et 7,66 + 1,15 = 8,81 soit 8,80 m,

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

		Méthode L. G. M.					Méthode Meyerhof amendée						
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
profondeur	$C_{k,d}$	$d_{g,i,2}$	$d_{g,i,1}$	$d_{g,i,2}$	$d_{g,i}$	$d_{s,d}$	d_g	$C_{k,d,mi}$	$C_{k,d,ms}$	$C_{k,d,m}$	(a)	$d'g$	d_g
h	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2
0	0	0	0	0	0	0	0	4804	0	1081	1081	0	0
0,20	4,33	52,05	24,63	38,37	38,37	$\left[\frac{2,355 \times 0,20}{2} + 60 \times 0,14 \right] \frac{1}{61}$	= 0,02	55,22	0	12,92	12,92	0,16	0,16
0,40	8,35	56,19	28,07	42,53	42,53	$\left[\frac{2,355 \times 0,40}{2} + 59 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 0,20}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 0,11	60,43	0,14	13,64	13,64	0,36	0,36
0,60	2,38	59,06	31,86	45,86	45,86	$\left[\frac{2,355 \times 0,60}{2} + 58 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 0,40}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 0,30	63,82	0,14	14,65	14,65	0,57	0,57
0,80	78,41	60,77	32,64	45,77	45,77	$\left[\frac{2,355 \times 0,80}{2} + 57 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 0,60}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 0,86	64,85	1,16	15,47	15,47	0,81	0,81
1,00	86,44	58,34	32,64	45,43	45,43	$\left[\frac{2,355 \times 1,00}{2} + 56 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 0,80}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 1,39	60,55	3,69	16,48	16,48	1,28	0,98
1,20	80,47	55,20	32,64	42,32	42,32	$\left[\frac{2,355 \times 1,20}{2} + 55 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 1,00}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 1,83	59,13	6,48	17,65	17,65	1,38	1,24
1,40	78,45	53,24	33,00	42,37	42,37	$\left[\frac{2,355 \times 1,40}{2} + 54 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 1,20}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 2,46	55,50	9,08	19,52	19,52	1,28	1,54
1,60	72,52	48,77	25,34	35,56	35,56	$\left[\frac{2,355 \times 1,60}{2} + 53 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 1,40}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 2,46	55,95	11,61	21,54	21,54	2,25	1,88
1,80	64,55	46,97	"	35,37	35,37	$\left[\frac{2,355 \times 1,80}{2} + 52 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 1,60}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 2,88	61,55	13,95	24,66	24,66	2,90	2,29
2,00	48,58	45,99	"	37,86	37,86	$\left[\frac{2,355 \times 2,00}{2} + 51 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 1,80}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 3,29	65,74	16,03	27,08	27,08	3,54	2,72
2,20	40,81	53,69	"	42,52	42,52	$\left[\frac{2,355 \times 2,20}{2} + 50 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 2,00}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 3,71	66,94	18,60	28,70	28,70	4,42	3,23
2,40	32,64	60,82	"	43,08	43,08	$\left[\frac{2,355 \times 2,40}{2} + 49 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 2,20}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 4,12	71,86	18,91	30,82	30,82	4,83	3,07
2,60	40,56	60,07	"	42,77	42,77	$\left[\frac{2,355 \times 2,60}{2} + 48 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 2,40}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 4,54	75,74	19,96	32,44	32,44	5,51	4,15
2,80	48,49	58,57	"	42,43	42,43	$\left[\frac{2,355 \times 2,80}{2} + 47 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 2,60}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 4,95	77,02	21,27	33,81	33,81	6,18	4,76
3,00	74,72	58,44	"	41,89	41,89	$\left[\frac{2,355 \times 3,00}{2} + 46 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 2,80}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 5,37	77,27	22,78	35,04	35,04	6,87	5,23
3,20	80,35	58,50	11,56	34,03	34,03	$\left[\frac{2,355 \times 3,20}{2} + 45 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 3,00}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 5,77	73,07	25,19	35,97	35,97	7,52	5,79
3,40	124,77	53,45	"	32,57	32,57	$\left[\frac{2,355 \times 3,40}{2} + 44 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 3,20}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 6,19	69,66	27,79	36,94	36,94	8,21	6,15
3,60	96,00	50,27	"	30,32	30,32	$\left[\frac{2,355 \times 3,60}{2} + 43 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 3,40}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 6,62	62,03	34,82	38,02	38,02	9,08	7,1
3,80	64,23	48,23	"	29,30	29,30	$\left[\frac{2,355 \times 3,80}{2} + 42 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 3,60}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 7,04	59,61	34,94	42,74	42,74	10,61	8,08
4,00	84,86	46,75	"	28,56	28,56	$\left[\frac{2,355 \times 4,00}{2} + 41 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 3,80}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 7,52	76,75	37,03	45,97	45,97	12,04	9,06
4,20	64,82	45,33	"	28,45	28,45	$\left[\frac{2,355 \times 4,20}{2} + 40 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 4,00}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 7,94	76,78	39,77	48,10	48,10	13,20	9,83
4,40	54,82	44,36	"	27,96	27,96	$\left[\frac{2,355 \times 4,40}{2} + 39 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 4,20}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 8,36	75,32	41,86	49,62	49,62	14,23	10,66
4,60	49,84	44,04	"	27,80	27,80	$\left[\frac{2,355 \times 4,60}{2} + 38 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 4,40}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 8,78	75,72	43,63	50,85	50,85	15,28	11,45
4,80	36,97	44,07	"	27,82	27,82	$\left[\frac{2,355 \times 4,80}{2} + 37 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 4,60}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 9,20	75,31	45,24	51,98	51,98	16,35	12,18
5,00	41,06	44,27	"	27,32	27,32	$\left[\frac{2,355 \times 5,00}{2} + 36 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 4,80}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 9,62	75,56	46,41	52,97	52,97	17,30	12,88
5,20	65,03	43,93	"	27,75	27,75	$\left[\frac{2,355 \times 5,20}{2} + 35 \times 0,14 + \frac{2,355 \times 5,00}{2} \right] \frac{1}{61}$	= 10,04	75,36	47,88	53,95	53,95	18,32	13,60

5.40	165.05	41.03	*	26.33	$[24 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 14.10 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	15.59	7228	49.85	54.88	54.88	19.36	144.32
5.10	129.08	36.40	*	23.98	$[25 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 13.20 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	14.54	5809	55.81	55.81	55.81	20.44	155.06
5.80	85.71	33.79	*	22.28	$[26 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 12.10 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	13.81	4466	59.31	59.31	59.31	17.64	144.09
6.00	57.14	31.22	*	21.39	$[27 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 11.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	13.16	3982	62.06	62.06	62.06	15.64	131.00
6.20	53.77	29.83	*	20.70	$[28 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 10.10 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	12.46	3684	64.90	64.90	64.90	14.20	126.63
6.40	45.75	28.67	*	20.03	$[29 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 9.20 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	11.81	3398	65.62	65.62	65.62	12.80	119.98
6.10	38.22	27.70	*	19.63	$[30 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 8.10 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	11.21	3201	66.58	66.58	66.58	11.80	113.88
6.80	39.25	26.88	*	19.22	$[31 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 7.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	10.58	3070	67.53	67.53	67.53	10.88	107.92
7.00	37.28	26.00	*	18.78	$[32 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 6.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	10.04	2940	68.45	68.45	68.45	10.44	101.83
7.20	37.37	25.05	*	18.37	$[33 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 5.10 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	9.59	2876	69.29	69.29	69.29	9.55	95.21
8.40	25.34	24.49	*	18.03	$[34 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 4.20 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	9.24	2828	69.95	69.95	69.95	8.71	88.18
7.00	25.31	24.40	*	17.98	$[35 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 3.30 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	8.98	2794	70.54	70.54	70.54	8.22	81.22
7.80	29.39	24.04	*	17.82	$[36 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 2.40 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	8.71	2769	71.07	71.07	71.07	7.74	74.24
8.00	27.42	23.54	*	17.80	$[37 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 1.50 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	8.50	2745	71.54	71.54	71.54	7.26	67.26
8.20	27.45	22.87	*	17.23	$[38 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.60 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	8.26	2721	71.94	71.94	71.94	6.78	60.28
8.40	27.48	22.23	*	16.57	$[39 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	8.01	2698	72.27	72.27	72.27	6.30	53.30
8.60	27.50	21.92	*	16.27	$[40 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	7.78	2676	72.54	72.54	72.54	5.82	46.32
8.80	27.53	21.96	*	16.10	$[41 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	7.56	2654	72.78	72.78	72.78	5.34	39.34
9.00	27.55	21.97	*	16.13	$[42 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	7.34	2632	72.99	72.99	72.99	4.86	32.36
9.20	27.58	21.98	*	16.01	$[43 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	7.12	2610	73.17	73.17	73.17	4.38	25.38
9.40	27.62	21.98	*	16.00	$[44 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	6.90	2588	73.32	73.32	73.32	3.90	18.40
9.60	27.64	21.97	*	15.89	$[45 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	6.68	2566	73.45	73.45	73.45	3.42	11.42
9.80	27.67	21.95	*	15.74	$[46 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	6.46	2544	73.56	73.56	73.56	2.94	4.44
10.00	27.70	21.93	*	15.57	$[47 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	6.24	2522	73.65	73.65	73.65	2.46	0.46
10.20	27.73	21.91	*	15.40	$[48 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	6.02	2500	73.72	73.72	73.72	1.98	0.48
10.40	27.76	21.89	*	15.23	$[49 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	5.80	2478	73.78	73.78	73.78	1.50	0.50
10.60	27.79	21.87	*	15.06	$[50 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	5.58	2456	73.83	73.83	73.83	1.02	0.52
10.80	27.82	21.85	*	14.89	$[51 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	5.36	2434	73.87	73.87	73.87	0.54	0.54
11.00	27.85	21.83	*	14.72	$[52 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	5.14	2412	73.90	73.90	73.90	0.06	0.56
11.20	27.88	21.81	*	14.55	$[53 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	4.92	2390	73.92	73.92	73.92	0.00	0.58
11.40	27.91	21.79	*	14.38	$[54 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	4.70	2368	73.94	73.94	73.94	0.00	0.60
11.60	27.94	21.77	*	14.21	$[55 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	4.48	2346	73.95	73.95	73.95	0.00	0.62
11.80	27.97	21.75	*	14.04	$[56 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	4.26	2324	73.96	73.96	73.96	0.00	0.64
12.00	28.00	21.73	*	13.87	$[57 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	4.04	2302	73.96	73.96	73.96	0.00	0.66
12.20	28.03	21.71	*	13.70	$[58 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	3.82	2280	73.96	73.96	73.96	0.00	0.68
12.40	28.06	21.69	*	13.53	$[59 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	3.60	2258	73.96	73.96	73.96	0.00	0.70
12.60	28.09	21.67	*	13.36	$[60 \times 11.56 + 8.35 \times 4.33 + 4.33 \times 0.00 + \frac{14.56 \times 11.56}{2}] \times \frac{1}{64}$	3.38	2236	73.96	73.96	73.96	0.00	0.72

1240	20604	15385	8028	11815	7177	8452	4252	6484	3147
1260	15826	9182	3227	11195	7740	8494	8494	6390	3289
1280	13023	3349	3010	12132	8084	8987	8987	7514	3525
1300	4442	3787	2229	13334	8368	9485	9485	8054	3766
1320	6645	4557	8114	14462	8609	9843	9843	8486	3978
1340	6618	4272	"	15298	8785	10258	10258	8910	4165
1360	8620	42445	"	15812	8934	10481	10481	9477	4529
1380	9743	42343	8224	15754	9201	10664	10664	9708	4708
1400	14626	42362	"	15812	9518	10857	10857	10070	4894
1420	15029	42270	"	15743	9774	11205	11205	10539	5141
1440	24232	41987	"	14888	10687	11812	11812	11073	5419
1460	23834	41505	"	14415	11347	11930	11930	11577	5609
1480	18237	41108	"	15254	11877	12658	12658	12402	6102
1500	12640	40820	"	17410	12485	13336	13336	13240	6529
1520	11443	40869	"	17504	12485	13614	13614	13614	6645
1540	11447	40842	"	16749	12537	13680	13680	13680	6982
1560	9848	40851	"	16396	13052	13892	13892	13892	7199
1580	10651	40823	"	15865	13319	13924	13924	13924	7573
1600	15655	40723	"	144604	13728	13988	13988	13971	7340
1620	15057	40340	"	14782	14254	13910	13910	13971	6792
1640	17060	3926	"	14782	14689	14018	14018	14782	5987
1660	30262	3943	"	8587	15504	14018	14018	8982	2987
1680	30265	7379	"	6346	16191	13976	13976	6346	6146
1700	42268	6309	"	5726	16671	13839	13839	5726	5726
1720	4671	6429	"	6962	16968	13847	13847	6082	6082
1740	6674	6471	"	6198	17561	13745	13745	6199	6199
1760	3876	6080	"	6290	17560	13707	13707	6290	6290
1780	5229	6225	"	6160	17560	13745	13745	6160	6160
1800	5282	6343	"						
1820	5284	6443	"						
1840	5287	6495	"						
1860	6490	6626	"						
1880	6643		"						
1900	7696		"						
1920	7699		"						
1940	6702		"						
1960	4104		"						

$$\left[\begin{aligned} &10 \times 4671 + 3573 + 2 \times 2170 + 2364 + 1962 + 1858 + 43 \times 4158 + 825 + 4434 + 433 \\ &14 \times 4671 + 3573 + 2 \times 2170 + 2364 + 1962 + 1858 + 43 \times 4158 + 4434 + 433 \\ &12 \times 4671 + 3573 + 2 \times 2170 + 2364 + 1962 + 1858 + 43 \times 4158 + 4434 + 433 \\ &13 \times 4671 + 3573 + 2 \times 2170 + 2364 + 1962 + 1858 + 43 \times 4158 + 4434 + 433 \\ &14 \times 4671 + 3573 + 2 \times 2170 + 2364 + 1962 + 1858 + 43 \times 4158 + 4434 + 433 \\ &15 \times 4671 + 3573 + 2 \times 2170 + 2364 + 1962 + 1858 + 43 \times 4158 + 4434 + 433 \\ &16 \times 4671 + 3573 + 2 \times 2170 + 2364 + 1962 + 1858 + 43 \times 4158 + 4434 + 433 \\ &17 \times 4671 + 3573 + 2 \times 2170 + 2364 + 1962 + 1858 + 43 \times 4158 + 4434 + 433 \end{aligned} \right] \times \frac{1}{64}$$

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

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

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 $d_{g,i,1}^{(n)}$.

On a donc finalement:

$$d_{g,i,1} = 24,40 \text{ kg/cm}^2.$$

β) Calcul de $d_{g,i,2}^{(n)}$.

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

En parcourant la 2^e 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 :

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

TABEAU 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	12,68								
7,80	2	29,39								
8,00	3	27,42								
8,20	4	27,45								
8,40	5	27,48								
8,60	6	27,50	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 :

$$\text{à } 0,40 \text{ m} \quad 8,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{à } 0,20 \text{ m} \quad 4,3 \text{ kg/cm}^2$$

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

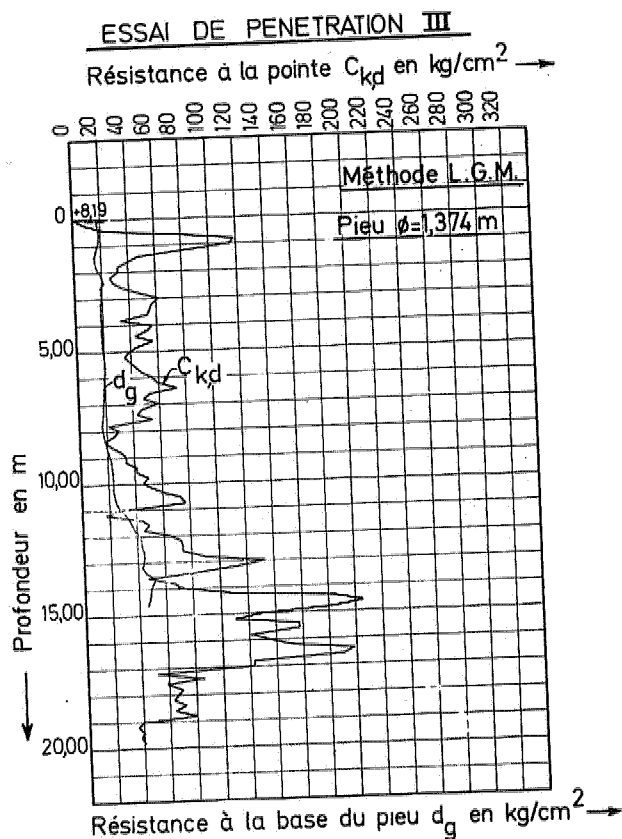


Fig. 31a.

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 $\phi 1,531$ 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.

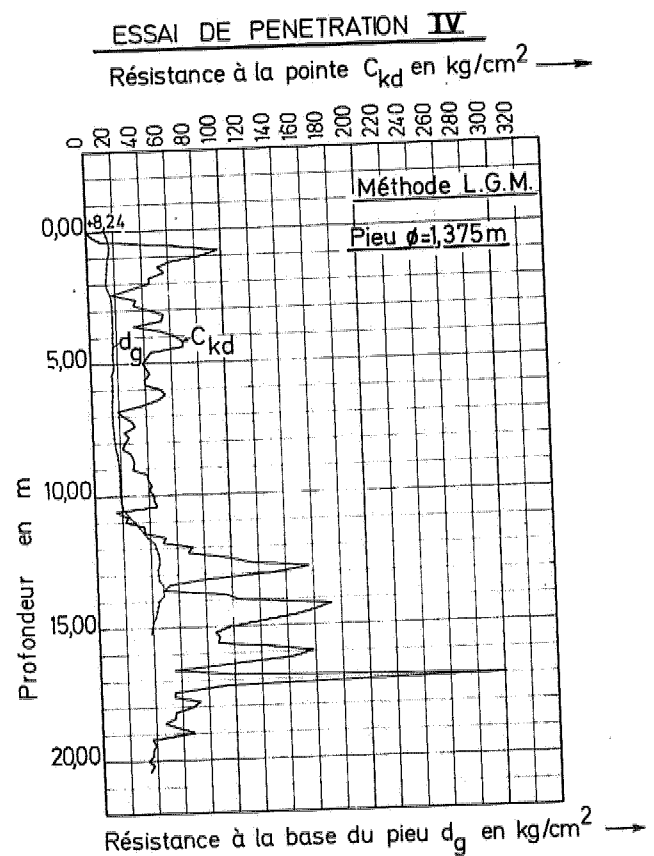


Fig. 31b.

ESSAI DE PENETRATION V

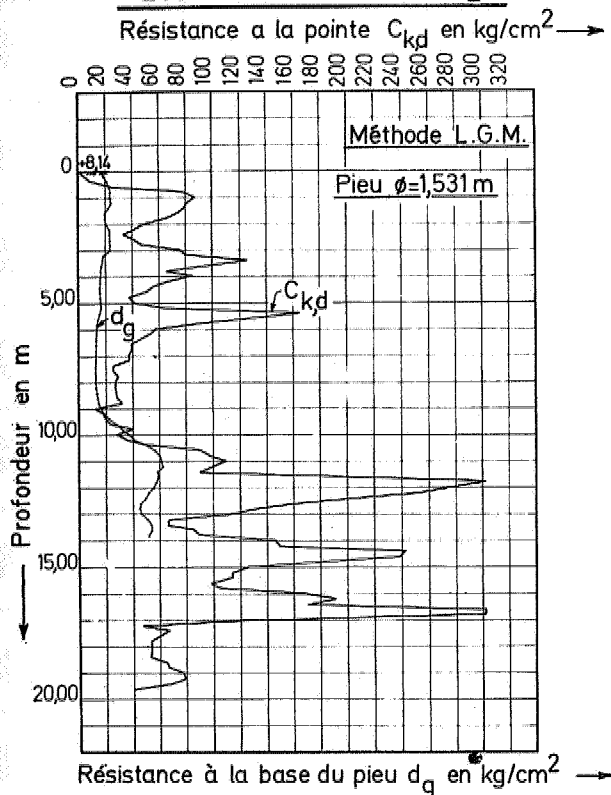


Fig. 31c.

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:

$$D = 1,531 \text{ m} \quad 7,60 + 1,531 = 9,131 \text{ m}$$

$$4D = 4 \times 1,531 \text{ m} = 6,124 \text{ m}$$

$$7,60 - 6,124 = 1,476 \text{ m}$$

ESSAI DE PENETRATION VI

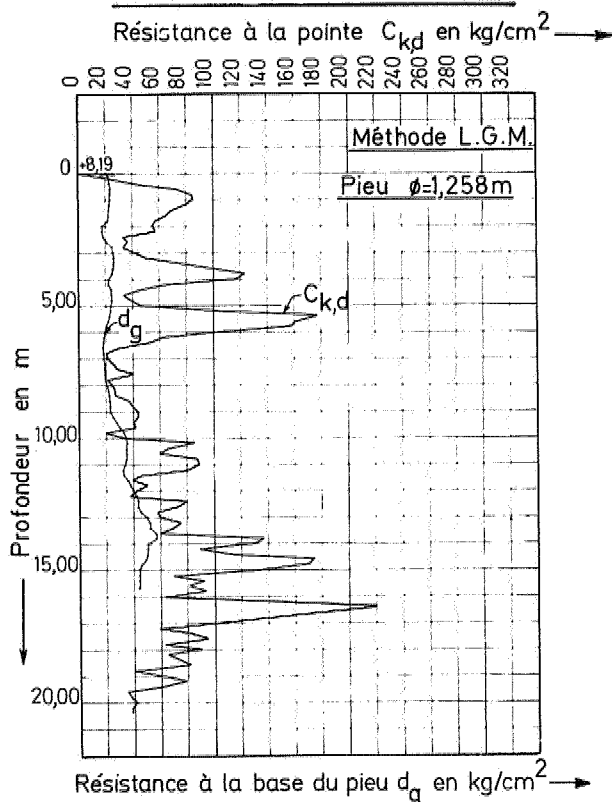


Fig. 31d.

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

On trouve:

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

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

On trouve:

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

TABLEAU XII.

Profondeur m	Essai III			Pieu III ø = 1,374 m			Essai IV			Pieu IV ø = 1,375 m			Essai V			Pieu V ø = 1,531 m			Essai VI			Pieu VI ø = 1,258 m			
	C _k d kg/cm ²	L.G.M. kg/cm ²	M(a) kg/cm ²	R.I.G. kg/cm ²	C _k d kg/cm ²	L.G.M. kg/cm ²	M(a) kg/cm ²	R.I.G. kg/cm ²	C _k d kg/cm ²	L.G.M. kg/cm ²	M(a) kg/cm ²	R.I.G. kg/cm ²	C _k d kg/cm ²	L.G.M. kg/cm ²	M(a) kg/cm ²	R.I.G. kg/cm ²	C _k d kg/cm ²	L.G.M. kg/cm ²	M(a) kg/cm ²	R.I.G. kg/cm ²	C _k d kg/cm ²	L.G.M. kg/cm ²	M(a) kg/cm ²	R.I.G. kg/cm ²	
																									d _g
0	0	16,51	0	0	13,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,20	3,33	17,79	1,88	2,33	15,20	0,18	0,58	4,33	0,58	1,33	0,16	0,78	4,33	1,20	0,16	0,78	4,33	0,78	1,20	0,16	0,78	2,24	2,24	0,23	5,30
0,40	2,236	18,54	2,94	10,36	16,38	0,38	1,86	8,35	1,86	2,13	0,24	1,86	8,35	2,13	0,24	1,86	8,35	1,86	2,13	0,24	1,86	2,340	2,340	0,49	4,87
0,60	80,38	18,89	5,43	64,38	16,80	0,64	5,43	23,38	5,43	2,338	0,54	3,63	24,38	2,338	0,54	3,63	24,38	3,63	2,338	0,54	3,63	23,40	23,40	0,80	7,74
0,80	118,44	18,44	7,05	58,44	16,60	0,80	6,71	38,44	6,71	3,844	0,75	5,69	44,44	3,844	0,75	5,69	44,44	5,69	3,844	0,75	5,69	23,28	23,28	1,14	7,97
1,00	116,44	17,66	4,23	84,44	15,83	0,86	6,68	36,44	6,68	3,644	0,98	6,68	36,44	3,644	0,98	6,68	36,44	6,68	3,644	0,98	6,68	22,97	22,97	1,53	8,69
1,20	84,47	16,03	1,53	64,47	14,98	1,53	7,23	80,47	7,23	80,47	1,24	7,23	80,47	7,23	1,24	7,23	80,47	7,23	1,24	7,23	22,60	22,60	1,91	9,37	
1,40	48,49	15,19	1,86	8,57	14,64	1,67	7,77	78,49	7,77	78,49	1,54	7,77	78,49	7,77	1,54	7,77	78,49	7,77	1,54	7,77	22,30	22,30	2,33	10,07	
1,60	40,52	15,20	2,24	9,04	14,85	1,88	8,22	72,52	8,22	72,52	1,88	8,22	72,52	8,22	1,88	8,22	72,52	8,22	1,88	8,22	22,06	22,06	2,75	10,63	
1,80	32,55	14,13	2,62	9,38	13,81	2,23	8,57	64,55	8,57	64,55	2,29	8,57	64,55	8,57	2,29	8,57	64,55	8,57	2,29	8,57	20,83	20,83	3,22	11,26	
2,00	30,58	17,95	3,03	10,05	13,76	2,72	9,52	48,58	9,52	48,58	2,72	9,52	48,58	9,52	2,72	9,52	48,58	9,52	2,72	9,52	19,54	19,54	3,77	11,90	
2,20	22,81	20,25	3,47	9,58	14,54	3,40	10,15	40,81	10,15	40,81	3,40	10,15	40,81	10,15	3,40	10,15	40,81	10,15	3,40	10,15	23,82	23,82	4,35	12,60	
2,40	28,64	21,66	3,89	11,15	16,28	3,53	9,30	32,64	9,30	32,64	4,14	11,15	32,64	9,30	4,14	11,15	32,64	9,30	4,14	11,15	23,60	23,60	5,05	13,19	
2,60	34,66	19,16	4,40	12,35	17,26	4,65	12,44	24,66	12,44	24,66	4,70	12,44	24,66	12,44	4,70	12,44	24,66	12,44	4,70	12,44	23,63	23,63	5,83	14,31	
2,80	44,69	19,44	4,81	13,77	17,29	5,15	13,36	16,69	13,36	16,69	5,23	13,36	16,69	13,36	5,23	13,36	16,69	13,36	5,23	13,36	23,69	23,69	6,65	15,30	
3,00	60,72	19,51	5,50	14,01	17,29	5,69	14,31	8,72	14,31	8,72	5,79	14,31	8,72	14,31	5,79	14,31	8,72	14,31	5,79	14,31	23,72	23,72	7,42	16,33	
3,20	55,75	18,72	6,13	16,89	17,23	6,26	15,29	8,75	15,29	8,75	6,35	15,29	8,75	15,29	6,35	15,29	8,75	15,29	6,35	15,29	18,74	18,74	8,92	17,43	
3,40	44,78	18,76	6,76	15,79	17,46	6,85	15,29	12,78	15,29	12,78	7,04	15,29	12,78	15,29	7,04	15,29	12,78	15,29	7,04	15,29	24,15	24,15	9,72	18,55	
3,60	42,80	18,83	7,36	16,75	17,24	6,85	16,28	32,80	16,28	32,80	7,20	16,28	32,80	16,28	7,20	16,28	32,80	16,28	7,20	16,28	24,04	24,04	10,89	19,68	
3,80	32,83	18,94	7,97	17,73	17,25	7,40	17,19	52,83	17,19	52,83	8,04	17,19	52,83	17,19	8,04	17,19	52,83	17,19	8,04	17,19	24,93	24,93	11,76	20,68	
4,00	56,86	19,04	8,60	18,77	17,19	8,04	17,98	62,86	17,98	62,86	8,68	17,98	62,86	17,98	8,68	17,98	62,86	17,98	8,68	17,98	24,98	24,98	13,37	22,03	
4,20	52,88	19,02	9,24	19,68	17,09	8,70	18,63	68,89	18,63	68,89	9,35	18,63	68,89	18,63	9,35	18,63	68,89	18,63	9,35	18,63	24,92	24,92	15,06	22,49	
4,40	42,82	19,14	9,85	20,67	16,93	9,35	19,49	68,82	19,49	68,82	10,09	19,49	68,82	19,49	10,09	19,49	68,82	19,49	10,09	19,49	24,86	24,86	16,84	22,76	
4,60	56,94	19,16	10,50	21,74	16,87	10,09	19,65	44,94	19,65	44,94	10,84	19,65	44,94	19,65	10,84	19,65	44,94	19,65	10,84	19,65	24,84	24,84	18,81	23,26	
4,80	44,97	19,04	11,55	21,64	16,94	10,81	19,64	40,97	19,64	40,97	11,58	19,64	40,97	19,64	11,58	19,64	40,97	19,64	11,58	19,64	24,80	24,80	20,97	23,86	
5,00	39,00	19,49	12,49	22,00	17,05	11,70	19,67	39,00	19,67	39,00	12,49	19,67	39,00	19,67	12,49	19,67	39,00	19,67	12,49	19,67	23,61	23,61	23,90	24,73	
5,20	35,03	19,72	13,35	22,48	17,14	12,47	19,54	44,03	19,54	44,03	13,40	19,54	44,03	19,54	13,40	19,54	44,03	19,54	13,40	19,54	23,61	23,61	26,85	25,57	
5,40	38,06	19,95	14,19	22,20	17,18	13,47	19,38	45,06	19,38	45,06	14,32	19,38	45,06	19,38	14,32	19,38	45,06	19,38	14,32	19,38	22,89	22,89	30,82	26,24	
5,60	43,08	20,14	15,09	22,05	17,22	14,44	19,22	39,08	19,22	39,08	15,27	19,22	39,08	19,22	15,27	19,22	39,08	19,22	15,27	19,22	21,74	21,74	35,74	27,94	
5,80	47,11	20,28	15,97	21,86	17,26	15,64	19,07	38,11	19,07	38,11	16,24	19,07	38,11	19,07	16,24	19,07	38,11	19,07	16,24	19,07	21,52	21,52	40,64	28,66	

600	5574	4950	1672	2162	5144	1578	4289	7882	5744	4341	4300	7527	10144	4944	1743	2742
620	5817	1942	1722	2133	5247	1621	4341	7878	5317	1316	4243	7489	6117	4864	1442	2727
640	5949	1945	1717	2107	4940	1575	4139	7854	4949	1281	4198	7424	5320	4877	1394	2705
660	5322	1846	1697	2070	4722	1486	4143	7854	3922	1270	4182	7424	2922	4894	1263	2689
680	4725	1874	1635	2041	4526	1482	4079	7845	3925	1192	4152	7350	2125	4824	1276	2687
700	5328	1851	1635	2025	4521	1521	4147	7838	3728	1183	4143	7357	2128	4866	1350	2684
720	4731	1845	1667	1997	2931	1523	4208	7831	3731	1141	4155	7324	2531	4804	1425	2681
740	4134	1785	1628	1983	3434	1526	4241	7823	2534	1121	4121	7304	2934	4830	1506	2677
760	5536	1721	1619	1935	2336	1546	4257	7815	2536	1118	4148	7266	4136	4835	1540	2672
780	2139	1680	1620	1911	2739	1581	4345	7802	2939	1145	4222	7248	2139	4891	1569	2666
800	2942	1627	1686	1933	2342	1611	4381	7790	2742	1150	4250	7233	2542	4801	1627	2659
820	2545	1744	1585	1914	2145	1622	4431	7777	2745	1177	4280	7244	2745	4886	1682	2650
840	1948	1666	1615	1915	2748	1711	4485	7762	2748	1182	4343	7248	2748	4832	1744	2638
860	2350	1923	1660	1924	2950	1843	4544	7745	2748	1195	4389	7288	2750	4868	1843	2624
880	2963	2095	1620	1967	2953	1867	4606	7725	3143	1225	4421	7294	2963	4897	1924	2620
900	3356	1741	1641	1937	2756	1895	4680	7704	3146	1250	4488	7308	3356	4949	1949	2655
920	3759	2289	1827	1943	3759	1943	4786	7689	3153	1275	4582	7321	3759	4959	2067	2647
940	4162	3330	1876	1926	3962	1976	4891	7661	3162	1361	4627	7312	3962	4962	2165	2641
960	4469	2357	1940	1906	4164	1942	4941	7650	2364	1350	4682	7302	4164	4904	2264	2628
980	4967	2374	1897	1883	4967	1978	4987	7651	3951	1351	4738	7297	4967	4967	2364	2619
1000	4570	2384	1978	1874	4370	1928	4980	7645	2770	1365	4742	7285	4370	4985	2457	2609
1020	5373	2383	2016	1882	4370	1948	4983	7639	3573	1399	4775	7277	4573	4929	2570	2608
1040	6176	2401	2036	1906	4576	2048	4927	7630	4976	1441	4811	7258	4576	4941	2694	2600
1060	5378	2497	2142	1952	4578	2330	4982	7630	8978	1576	4836	7249	4578	4928	2818	2592
1080	5781	2545	2174	2025	2381	2547	4949	7635	9721	1635	4852	7237	4781	4904	2907	2584
1100	2984	2833	2242	2100	2184	2682	4924	7629	10984	1689	4883	7227	4984	4984	2984	2576
1120	1187	3248	2306	2202	3587	2749	4927	7622	9987	1826	4926	7214	4987	4987	2986	2566
1140	4389	3531	2386	2336	3580	2844	4976	7622	8989	1876	4976	7201	4580	4904	2984	2548
1160	4982	3728	2497	2498	5182	3011	4921	7622	22532	1945	4945	7188	4982	4921	2982	2543
1180	4595	3976	2582	2682	4985	3141	4942	7616	30495	1976	4976	7176	4982	4921	2982	2540
1200	6388	4233	2654	2876	7489	4142	4922	7605	21388	1976	4976	7164	4988	4921	2984	2534
1220	3200	4948	2701	3058	6804	4544	4962	7608	25000	1990	4990	7157	4988	4921	2986	2520
1240	7404	4380	2776	3232	5804	4631	4926	7608	20604	1997	4997	7147	4988	4921	2982	2518
1260	7406	4449	2840	3426	11406	4628	4928	7608	45806	1998	4998	7138	4988	4921	2982	2516
1280	5809	4509	2960	3628	11209	4438	4925	7608	43909	1998	4998	7130	4988	4921	2982	2516
1300	1342	4439	3170	3843	11442	4566	4924	7604	11442	1998	4998	7124	4988	4921	2982	2516
1320	11445	4320	3404	4085	8245	4588	4929	7604	6645	1998	4998	7118	4988	4921	2982	2516

1340	8218	5415	3663	4208	5448	4980	3490	4422	6448	5439	4465	5802	3948	4973	4960	4960
1360	4820	5324	3858	4426	4920	4909	3610	4479	8620	5400	4340	5759	3620	4443	4934	4934
1380	4823	5091	4044	4573	4927	4927	3724	4524	9013	5181	4528	5708	43823	4526	4984	4984
1400	7226	4934	4604	4699	4548	4548	3842	4536	14626	4894	4708	5549	43026	4642	4953	4953
1420	10829	4902	4579	4802	4469	4469	3956	4543	18029	4894	4894	5387	5099	4790	4988	4988
1440	18632	4816	4434	4854	4363	4363	4116	4475	24632	5441	5441	5306	11432	4858	4965	4965
1460	20634	4684	4498	4862	4269	4269	4306	4430	23034	5449	5449	5423	14634	4980	4980	4980
1480	18237	4684	5081	4820	4033	4033	4476	4378	18237	5689	5689	5333	14037	4980	4980	4980
1500	13040	4770	5304	4770	3976	3976	4644	4319	12840	6402	6402	5235	13040	5138	4951	4951
1520	14043	4710	5537	4710	3938	3938	4709	4253	11443	6525	6525	5270	7043	5604	4980	4980
1540	18846	4644	5700	4644	3938	3938	4849	4188	11443	6645	6645	5045	9446	5775	4627	4627
1560	15848	4564	5870	4564	3938	3938	5189	4124	9848	7499	7499	4890	8248	5833	4539	4539
1580	12251	4472	5966	4472	3938	3938	5340	4058	10651	7499	7499	4890	8248	5833	4539	4539
1600	13464	4386	6081	4386	3938	3938	5443	3989	16655	7531	7531	4668	6244	6004	4404	4404
1620	16957	4303	6484	4303	3938	3938	5588	3923	15057	7671	7671	4572	14257	6204	4327	4327
1640	19860	4225	6830	4225	3938	3938	5789	3864	17060	7940	7940	4485	24860	6302	4249	4249
1660	19062	4151	6900	4151	3938	3938	5900	3803	30262	8302	8302	4477	18662	6404	4170	4170
1680	12265	4084	6900	4084	3938	3938	6004	3750	30265	8302	8302	4349	14265	6488	4049	4049
1700	12268	4024	6900	4024	3938	3938	5871	3696	42268	8302	8302	4302	10668	6488	3949	3949
1720	5271	3973	6900	3973	3938	3938	5871	3696	4671	8302	8302	4270	5871	6488	3884	3884
1740	8674	3931	6900	3931	3938	3938	5871	3696	6674	8302	8302	4255	8674	6488	3844	3844
1760	5876	3885	6900	3885	3938	3938	5871	3696	5876	8302	8302	4239	9476	6488	3814	3814
1780	7079	3842	6900	3842	3938	3938	5871	3696	5279	8302	8302	4220	9476	6488	3750	3750
1800	6682	3808	6900	3808	3938	3938	5871	3696	5282	8302	8302	4200	9476	6488	3692	3692
1820	6285	3779	6900	3779	3938	3938	5871	3696	5284	8302	8302	4180	9476	6488	3640	3640
1840	7288	3740	6900	3740	3938	3938	5871	3696	5288	8302	8302	4160	9476	6488	3595	3595
1860	6490	3700	6900	3700	3938	3938	5871	3696	5290	8302	8302	4140	9476	6488	3564	3564
1880	8093	3653	6900	3653	3938	3938	5871	3696	6490	8302	8302	4120	9476	6488	3550	3550
1900	4036	3606	6900	3606	3938	3938	5871	3696	6493	8302	8302	4100	9476	6488	3532	3532
1920	3699	3559	6900	3559	3938	3938	5871	3696	7696	8302	8302	4080	9476	6488	3512	3512
1940	4402	3502	6900	3502	3938	3938	5871	3696	7699	8302	8302	4060	9476	6488	3504	3504
1960	3904	3407	6900	3407	3938	3938	5871	3696	6702	8302	8302	4040	9476	6488	3490	3490
1980	4407	3310	6900	3310	3938	3938	5871	3696	6702	8302	8302	4020	9476	6488	3470	3470
2000		3213	6900	3213	3938	3938	5871	3696	6702	8302	8302	4000	9476	6488	3453	3453
2020		3116	6900	3116	3938	3938	5871	3696	6702	8302	8302	3980	9476	6488	3440	3440
2040		3019	6900	3019	3938	3938	5871	3696	6702	8302	8302	3960	9476	6488	3426	3426

Puisque:

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

on pose:

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

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:

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

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:

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

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	$\frac{h_{s,v}}{10 D} = \frac{n_v \times 0,20}{10 \times 1,531}$ = 0,013 n_v	n_μ	$\frac{h_{s,\mu}}{3D} = \frac{n_\mu \times 0,20}{3 \times 1,531}$ = 0,044 n_μ
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	0,348
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	$n_v = 13$	$d'_{g,v} = 17,30 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 18,61 \text{ kg/cm}^2$
a 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	$n_v = 37$	$d'_{g,v} = 0,16 \text{ kg/cm}^2$	$d_{g,v} = 12,17 \text{ kg/cm}^2$
a 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 $d_{g,\mu}$ 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

Résistance à la pointe C_{kd} en kg/cm^2 →

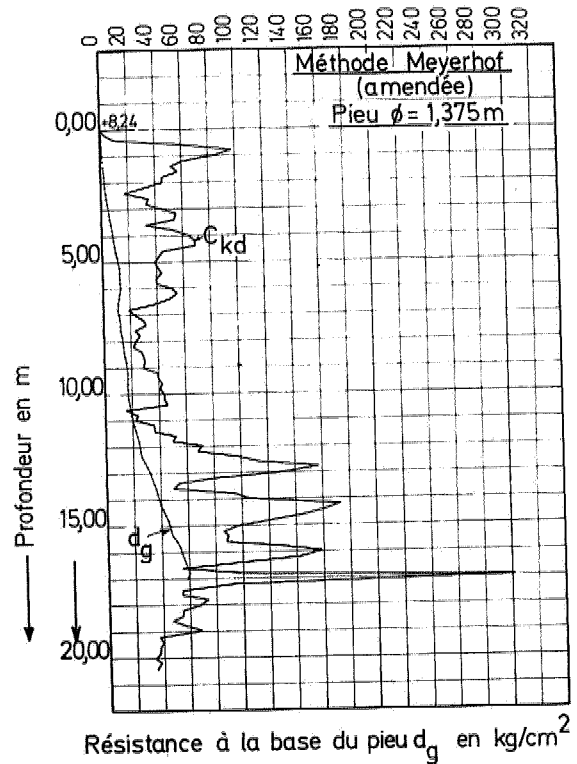


Fig. 32b.

ESSAI DE PENETRATION III

Résistance à la pointe C_{kd} en kg/cm^2 →

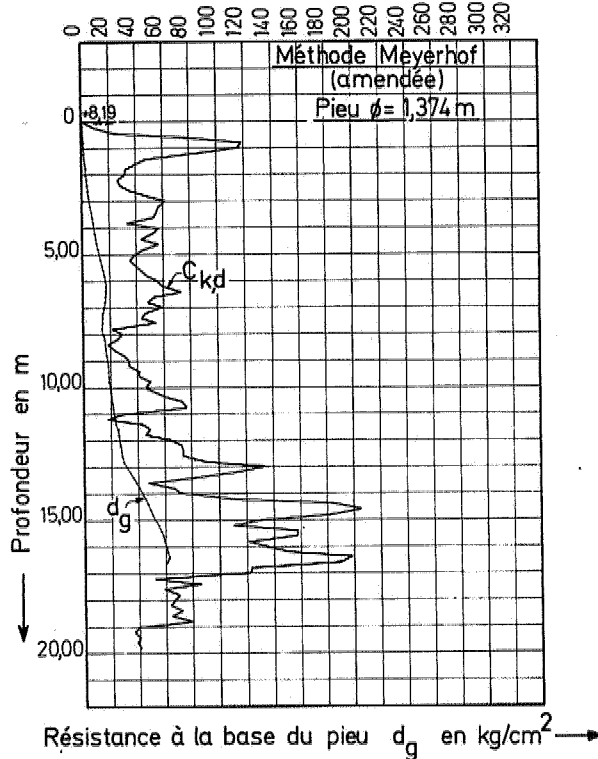


Fig. 32a.

ESSAI DE PENETRATION V

Résistance à la pointe C_{kd} en kg/cm^2 →

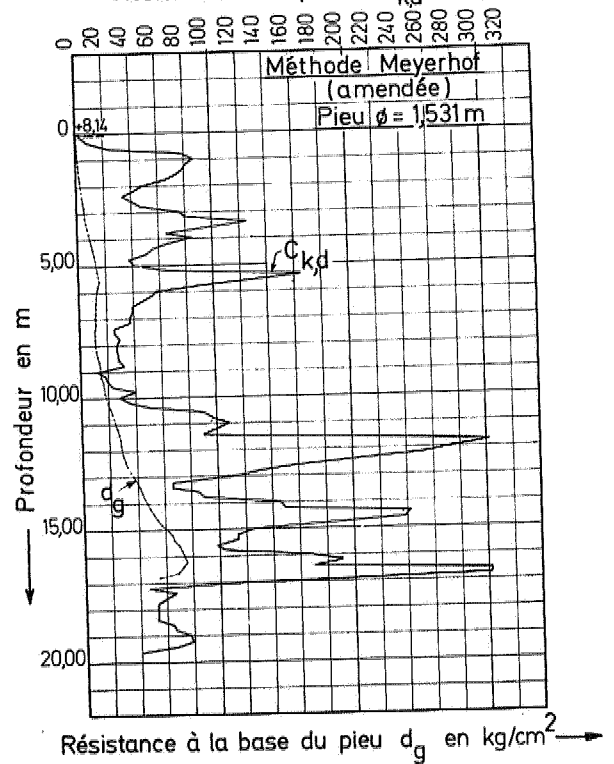


Fig. 32c.

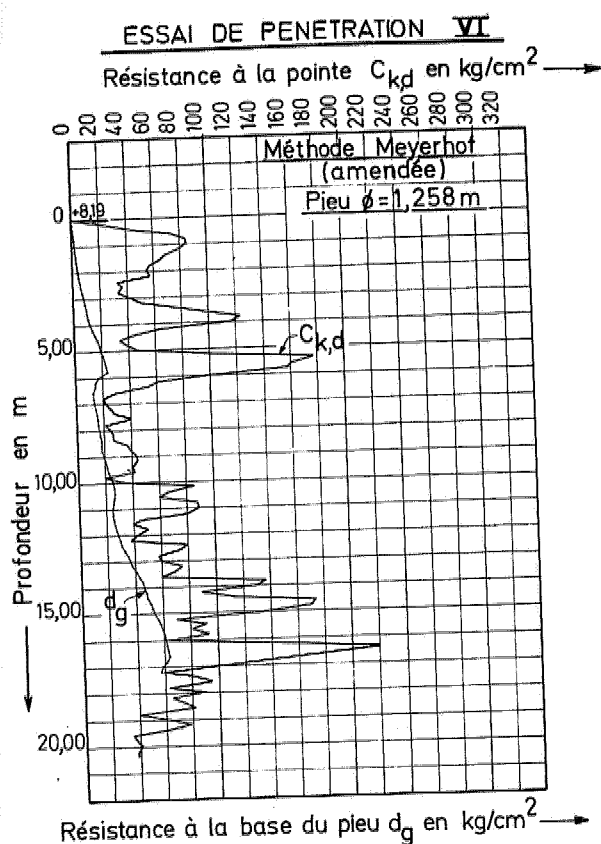


Fig. 32d.

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

Nous renvoyons au tableau XIV.

On y trouve:

- 1^{ère} colonne: les profondeurs h au-dessous de la surface du sol en m;
- 2^e colonne: les valeurs $C_{k,d}$ enregistrées;
- 3^e colonne: les valeurs de p_b en 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^e colonne: les valeurs de l'angle apparent φ' obtenues au moyen des formules (20 à 23) et du diagramme de la figure 13.
- 5^e colonne: les valeurs du rapport $\frac{h}{d}$;
- 6^e 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^e colonne: les valeurs du rapport $\frac{h}{D}$;
- 8^e 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^e 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 $d_g^{(1)}$

β) Influence du gradient d'accroissement ou de décroissement

β-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 φ' 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 φ' , 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. Pieux 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 h	$C_{k,d}$	P_b ($\gamma_k = 1,6 \text{ t/m}^3$ resp. $1,0 \text{ t/m}^3$)	φ, φ'	$\frac{h}{d}$ $d = 0,36 \text{ m}$	β_c (voir fig. 20)	$\frac{h}{D}$	β_p (voir fig. 20)	$d_g^{(1)}$ form. (62)	$d_{g,i+1}$ form. (80)	$d_{g,q+1}$ form. (84)	d_g valeurs homogénéisées
m	kg/cm^2	t/m^2	degrés		radians		radians	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2
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	13,25	6,95	6,95	9,15
1,80	64,55	2,52	33°			1,17	0,36	13,41	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	13,75	9,48	9,48	12,87
2,80	46,69	3,52	29°30'			1,83	0,675	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°	2,98	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'	3,28	1,35	33,55	19,87	17,11	16,53
5,20	65,03	5,92	28°	3,40	1,44	39,87	21,01	17,04	16,33
5,40	165,06	6,12	33°	3,53	0,875	61,91	22,48	16,94	16,09
5,60	129,08	6,32	31°30'	3,65	0,97	61,87	23,67	16,87	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	14,77

9,20	17,58	9,92	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	49,76	11,12	21°	49,76	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	44,77
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	12,92	31° 30'	250,00	51,11	51,11	58,01
12,40	206,04	13,12	30° 30'	206,04	56,30	56,30	59,84
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	144,12	13,72	26°	144,12	64,49	59,41	58,67
13,20	66,15	13,92	27° 30'	66,15	65,00	59,29	58,38
13,40	66,18	14,12	27° 30'	66,18	65,49	59,15	58,02
13,60	66,20	14,32	23° 30'	66,20	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	56,60	53,33
15,00	126,40	15,72	25°30'	126,40	89,42	56,06	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	54,44	50,15
15,60	98,48	16,32	23°30'	98,48	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	196,57	16,92	28°	196,57	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	44,91	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^e colonne du tableau XIV. Les valeurs de $p_{b,j}$ se trouvent à la 3^e 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 $d_{g,j+1}^{(1)}$ se trouvent à la 9^e colonne du tableau XIV, mais immédiatement au-dessous de la profondeur considérée.

Les valeurs de $d_{g,j+1}$ s'inscrivent à la 10^e 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 ϕ' 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^e colonne.

— A 0,40 m de profondeur, on a au moins une valeur de ϕ' 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^o) $h_{crit} = 0,20$ 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°) $h_{\text{erit}} = 0,40 \text{ m}$,

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

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 $1,32 \text{ kg/cm}^2$. 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 φ' est égale ou supérieure à $32^\circ 30'$, d'où en principe double calcul.

On a:

$$\begin{aligned} p_{b,j} &= 0,64 \text{ t/m}^2 & (p_b \text{ à } 0,40 \text{ m}) \\ d_{g,j} &= 1,32 \text{ kg/cm}^2 & (d_g \text{ à } 0,40 \text{ m}). \end{aligned}$$

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

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

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°) $h_{\text{erit}} = 0,40 \text{ m}$,

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

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 $2,08 \text{ kg/cm}^2$ qui est dès lors retenue.

— A 0,80 m de profondeur.

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

$$\begin{aligned} p_{b,j} &= 0,96 \text{ t/m}^2, \\ d_{g,j} &= 2,08 \text{ kg/cm}^2, \end{aligned}$$

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

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

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°) $h_{\text{erit}} = 0,40 \text{ m}$,

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

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 $3,52 \text{ kg/cm}^2$.

— A 1,00 m de profondeur:

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

$$\begin{aligned} p_{b,j} &= 1,28 \text{ t/m}^2, \\ d_{g,j} &= 3,52 \text{ kg/cm}^2. \end{aligned}$$

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

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

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°) $h_{\text{erit}} = 0,40 \text{ m}$,

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

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 $4,83 \text{ kg/cm}^2$

— 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).

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

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

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

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

formule (124),

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

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

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

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

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

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/cm².

— A 1,40 m de profondeur:

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

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

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

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

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

formule (124),

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

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

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

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

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

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/cm².

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

— A 2,00 m de profondeur:

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

Il faut donc considérer les 2 cas:

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

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

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

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

formule (124),

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

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

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

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

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

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

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

On retient 7,97 kg/cm².

— A 2,20 m de profondeur:

Les 3 valeurs de ϕ' 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 ϕ' n'est pas inférieure à $32^\circ 30'$. Il faut donc effectuer 2 calculs.

$$p_{b,j} = 3,72 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 10,99 \text{ kg/cm}^2.$$

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

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 25,20 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 10,99$$

$$+ \left[\frac{3,72 + 4,25}{3,72 + 0,10} 25,20 - 10,99 \right] \frac{1}{42,5} =$$

$$= 11,97 \text{ kg/cm}^2.$$

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

$$d_{g,j+2}^{(1)} = 33,87 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 10,99 +$$

$$+ \left[\frac{3,72 + 8,50}{3,72 + 0,20} 33,87 - 10,99 \right] \frac{1}{85} =$$

$$= 12,10 \text{ kg/cm}^2$$

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.

$$p_{b,j} = 3,92 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 11,97 \text{ kg/cm}^2.$$

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

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 33,87 \text{ kg/cm}^2.$$

$$d_{g,j+1} = 11,97 +$$

$$+ \left[\frac{3,92 + 4,25}{3,92 + 0,10} 33,87 - 11,97 \right] \frac{1}{42,5} =$$

$$= 13,31 \text{ kg/cm}^2.$$

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

$$d_{g,j+2}^{(1)} = 31,24 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 11,97 +$$

$$+ \left[\frac{3,92 + 8,50}{3,92 + 0,20} 31,24 - 11,97 \right] \frac{1}{85} =$$

$$= 12,94 \text{ kg/cm}^2.$$

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.

$$p_{b,j} = 4,12 \text{ t/m}^2,$$

$$d_{g,j} = 12,94 \text{ kg/cm}^2.$$

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

$$d_{g,j+1}^{(1)} = 31,24 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 12,94 +$$

$$+ \left[\frac{4,12 + 4,25}{4,12 + 0,10} 31,24 - 12,94 \right] \frac{1}{42,5} =$$

$$= 14,09 \text{ kg/cm}^2.$$

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

$$d_{g,j+2}^{(1)} = 24,29 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 12,94 +$$

$$+ \left[\frac{4,12 + 8,50}{4,12 + 0,20} 24,29 - 12,94 \right] \frac{1}{85} =$$

$$13,62 \text{ kg/cm}^2.$$

On retient $13,62 \text{ kg/cm}^2$.

— A 3,80 m de profondeur:

Les 3 valeurs de φ' 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°) herit = 0,20 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°) herit = 0,40 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/cm².

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/cm².

On effectue des calculs analogues jusque 11,40 m de profondeur.

— A 11,40 m de profondeur:

A cette profondeur les 3 valeurs de φ' 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 φ' 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°) herit = 0,20 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°) $h_{crit} = 0,40 \text{ m}$,

$$d_{g,j+2}^{(1)} = 301,95 \text{ kg/cm}^2,$$

$$d_{g,j+1} = 29,43 +$$

$$+ \left[\frac{12,12 + 8,50}{12,12 + 0,20} 301,95 - 29,43 \right] \frac{1}{85} = 35,03 \text{ kg/cm}^2.$$

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^e 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^e colonne du tableau XIV.

— A 19,40 m:

$d_{g,q} = 41,04 \text{ kg/cm}^2 =$ valeur se lisant dans la 11^e colonne immédiatement au-dessous du niveau considéré,

$d_{g,j+1} = 53,73 \text{ kg/cm}^2 =$ valeur se lisant dans la 10^e 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:

$$d_{g,i+1} = 51,11 \text{ kg/cm}^2 < d_{g,q} = 56,30 \text{ kg/cm}^2,$$

d'où:

$$d_{g,q+1} = d_{g,i+1} = 51,11 \text{ kg/cm}^2.$$

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:

$$d_{g,i+1} = 16,34 \text{ kg/cm}^2 < d_{g,q} = 17,17 \text{ kg/cm}^2,$$

d'où:

$$d_{g,q+1} = d_{g,i+1} = 16,34 \text{ kg/cm}^2.$$

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^e 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 1 D = 1,531 m, nous envisageons 9 lectures. Toutes les lectures de la 11^e colonne étant supérieures à 0,78 kg/cm², 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^e colonne du tableau XIV.

Profondeur 0,40 m:

On a $d_g^{(1)} = 1,60 \text{ kg/cm}^2$.

Les chiffres de la 11^e 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 kg/cm² qui est retenue et inscrite à la 12^e 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^e 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^e colonne du tableau XIV on trouve:

$$\begin{aligned} \text{à } 7,60 \text{ m de profondeur: } d_g &= 12,66 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{à } 7,80 \text{ m de profondeur: } d_g &= 12,48 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 0,18 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

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.

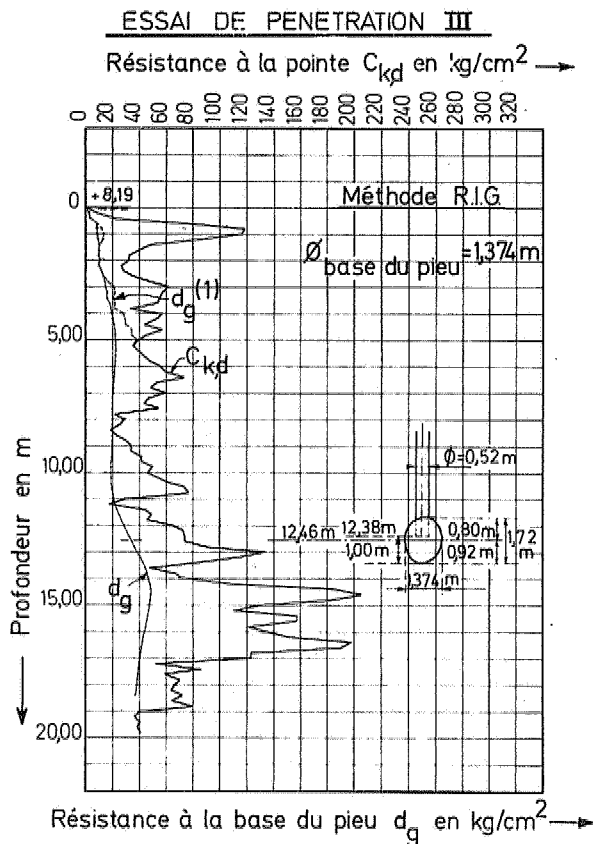


Fig. 33a.

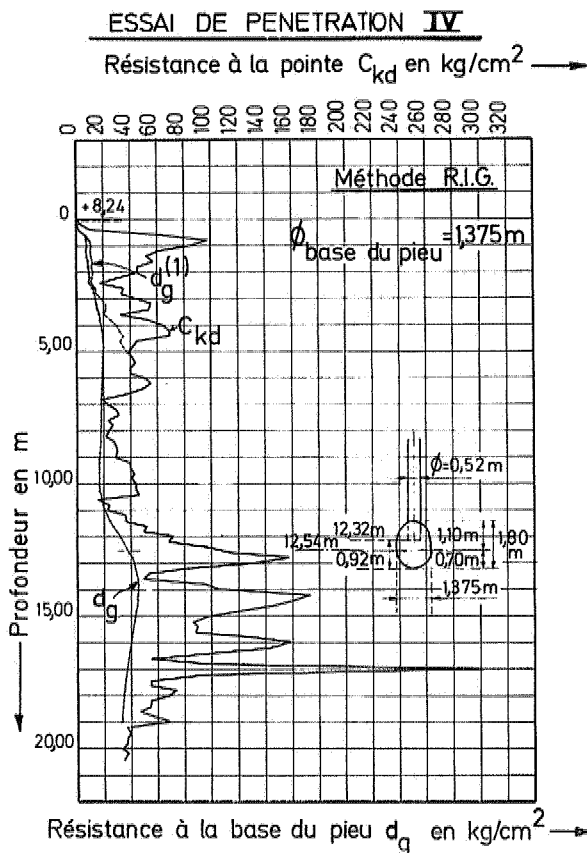


Fig. 33b.

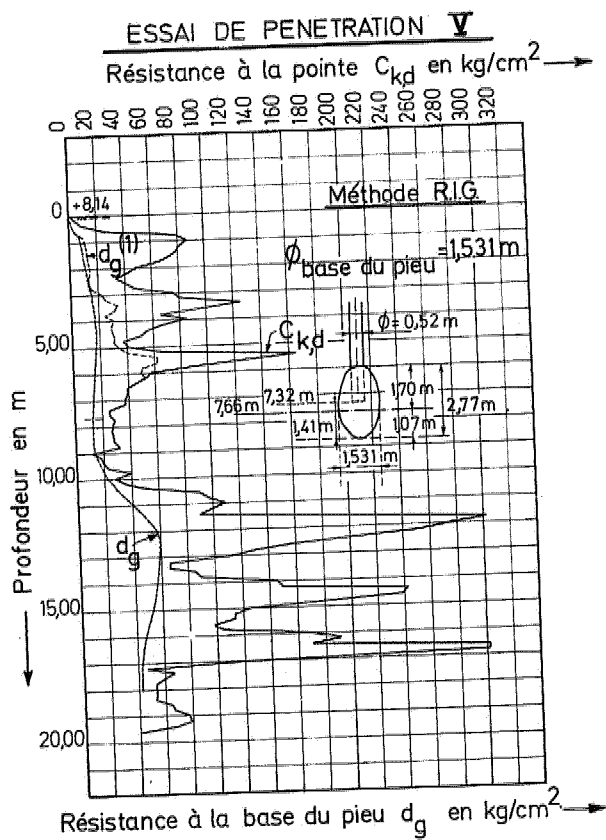


Fig. 33c.

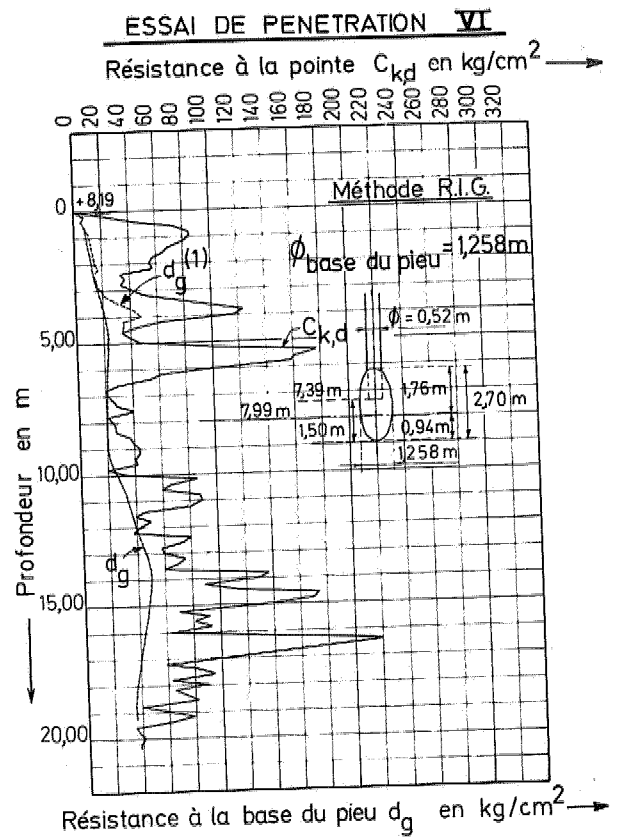


Fig. 33d.

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		9		10		11
				méthode L.G.M		méthode MEYERHOF amendée		méthode R.I.G		méthode R.I.G		B_g				
n° du pieu et de l'essai	profondeur de la base	D diamètre de la section max. centrée	Ω surface de la base centrée	d_g	B_g	d_g	B_g	d_g	B_g	d_g	B_g	d_g	B_g	valeurs expérimentales		
	m	m	m ²	kg/cm ²	t	kg/cm ²	t	kg/cm ²	t	kg/cm ²	t	kg/cm ²	t	t		
III	12,46	1,374	1,483	44,01	652,7	27,95	414,4	32,30	488,0	550 à 600						
IV	12,54	1,375	1,485	46,23	687,4	27,83	412,2	32,38	570,0	550 à 600						
V	7,66	1,531	1,841	12,46	229,4	11,13	206,0	14,61	232,0	234,5						
VI	7,99	1,258	1,243	20,36	260,5	16,82	203,1	20,53	256,0	300						

à la base. A la colonne 11 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^e 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 $d_{g,s}$ en $d_{g,s}$ (formule 1),

welke respectievelijk uit de konusweerstand $C_{k,a}$, opgemeten onder en boven het peil van de paalbasis worden afgeleid.

Er wordt geacht dat de lagen onder het peil van de paalbasis welke op d_g een invloed kunnen hebben zich uitstrekken tot een diepte van $0,75 D$ tot $3,75 D$, waarin $D =$ de diameter van de paalbasis voorstelt, terwijl boven de paalbasis de beïnvloedende lagen tot $8 D$ kunnen reiken.

De waarde $d_{g,t}$ wordt op haar beurt als gemiddelde van twee waarden $d_{g,t,1}$ en $d_{g,t,2}$ verkregen. De waarde $d_{g,t,1}$ is de gemiddelde waarde der konusweerstand $C_{k,a}$ gemeten vanaf het peil van de paalbasis tot een niveau (n) begrepen tussen $0,75 D$ en $3,75 D$. Voor de berekening van de waarde $d_{g,t,2}$ worden de werkelijke $C_{k,a}$ -waarden, welke over de beschouwde dikte werden opgemeten, door fictieve waarden vervangen, en wel zo dat in het fictieve diagram alle stijgingen van $C_{k,a}$ naar boven toe worden afgesneden. Van deze fictieve $C_{k,a}$ -waarden wordt terug het gemiddelde over de beschouwde laagdikte gemaakt.

De berekening van $d_{g,t}$ wordt systematisch herhaald voor alle onderste begrenzingsen, gelegen tussen $0,75 D$ en $3,75 D$ en hiervan wordt tenslotte de kleinste waarde weerhouden.

De waarde van $d_{g,s}$ wordt verkregen door het gemiddelde te maken van alle $C_{k,a}$ -waarden, welke over een hoogte $8 D$ boven het peil van de paalbasis werden gevonden, met dien verstande echter dat alle waarden van $C_{k,a}$ welke groter zijn dan degene, welke ze voorafgaan, wanneer men het diagram vanaf de paalbasis naar boven doorloopt, door die kleinere waarden worden vervangen.

De eerste waarde welke in dit afsnijdingsproces dient te worden beschouwd, is de kleinste waarde welke tussen het niveau van de paalbasis en het niveau van $3,75 D$ onder de paalbasis werd geregistreerd.

De figuren 2 t/m 6 helpen de methode verduidelijken.

In zoverre men zich tot palen met de gebruikelijke lengten en dwarsafmetingen beperkt, geeft de empirische methode L.G.M. globaal een behoorlijke overeenstemming tussen de berekende en werkelijke waarden van het grensdragvermogen.

Toch blijft het nuttig deze empirische methode aan een rationeel kritisch onderzoek te onderwerpen, en de

resultaten ervan met proefondervindelijke gegevens verkregen in niet gebruikelijke voorwaarden te vergelijken.

Het blijkt dat in bepaalde eenvoudige gevallen de methode L.G.M. tot rationeel moeilijk aanvaardbare resultaten leidt.

Anderzijds werden in Frankrijk [2] [3] systematische proeven op palen verricht, waarin palen met verschillende diameters systematisch vanaf het grondoppervlak werden weggedrukt, en de paalpuntweerstand werd opgemeten.

Op de figuur 9 stellen de curven EE de proefondervindelijk opgemeten waarden in functie van de diepte voor, terwijl de curven OABC de waarden geven, welke met de methode L.G.M. werden verkregen. Vastgesteld wordt dat de berekende waarden « L.G.M. » belangrijk groter dan de werkelijke waarden zijn, zodat in deze uitzonderlijke voorwaarden, de toepassing van de methode « L.G.M. » tot gevaarlijke uitkomsten leidt.

III. METHODE VAN MEYERHOF

Oorspronkelijke methode

Uit de bijdragen van Meyerhof [7] en [8] kan worden gehaald, dat deze auteur oordeelt dat in geval van palen geheid in zandlagen een goede overeenstemming wordt bereikt van het eenheidsgrensdragvermogen d_g van een paal met de gemiddelde waarde $C_{k,d,m}$ verkregen over een dikte begrepen tussen 1 maal de diameter van de paalbasis onder het niveau van de basis, en 4 maal deze diameter boven dit niveau.

Nochtans, wanneer H de diepte van het niveau van de basis onder het grondoppervlak voorstelt, en indien $\frac{H}{D} < 10$, dient de berekende waarde $C_{k,d,m}$ in de verhouding $\frac{H}{10 D}$ te worden verminderd.

Bovendien wanneer een paal over een bepaalde diepte h in een weerstandbiedende laag reikt, welke door een samenhangende laag is bedekt, dient men ook, zolang $\frac{h}{D} < 10$, op de waarde $C_{k,d,m}$ de reductiefactor $\frac{h}{10 D}$ toe te passen. Al deze voorwaarden worden uitgedrukt door de formules (7) tot (10).

Wanneer thans deze oorspronkelijke methode van Meyerhof op de Franse proeven van de I.R.A.B.A.

wordt toegepast, zo blijkt uit de figuur 10 dat voor kleine indringingsdiepten de berekende waarden (curven $A_M B_M C_M$) kleiner zijn dan de proefondervindelijke (curve EE) terwijl ze voor tussengelegen diepten groter zijn. Over het algemeen is het onderscheid echter niet zeer groot.

Aangepaste methode

Meyerhof heeft enkel het geval van de overgang van een slappe naar een meer draagkrachtige laag beschouwd. In de werkelijkheid wordt echter ook vaak de overgang van een meer weerstandbiedende naar een slappere laag aangetroffen.

Om de methode van Meyerhof algemeen toepasselijk te maken, werden er de volgende wijzigingen aan toegebracht:

Men berekent de gemiddelde waarde $C_{k,d,m,s}$ van de waarden $C_{k,d}$ over $4 D$ boven de paalbasis, en de gemiddelde waarde $C_{k,d,m,t}$ over $1 D$ onder de paalbasis.

Wanneer $C_{k,d,m,s} > C_{k,d,m,t}$ wordt de waarde van $C_{k,d,m,s}$ teruggebracht tot $C_{k,d,m,t}$, en wordt dus deze laatste waarde als karakteristieke waarde aangehouden:

$$C_{k,d,m}^{(a)} = C_{k,d,m,t}$$

Wanneer $C_{k,d,m,s} < C_{k,d,m,t}$ wordt de gemiddelde waarde $C_{k,d,m}$, zoals aangegeven door Meyerhof, berekend.

Worden over een afstand $10 D$ boven de paalbasis minder weerstandbiedende insluitingen gevonden met minimale weerstanden $C_{k,d,min,1}$, $C_{k,d,min,2}$..., respectievelijk op afstanden $h_{1,s}$, $h_{2,s}$... boven de basis, zo berekent men achtereenvolgens:

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

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

en men weerhoudt de kleinste van de aldus berekende waarden.

Worden over een afstand $3 D$ onder de paalbasis minder weerstandbiedende insluitingen gevonden, met weerstand $C_{k,d,min}$ op een diepte h_i onder de paalbasis ($h_i < 3 D$), zo stelt men:

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

Zijn er verschillende slappe insluitingen over de dikte $3 D$, zo zal men telkens de formule (13) aanwenden, en de kleinste waarde van d_g weerhouden.

Opgemerkt dient te worden, dat de aanwending van de formules (12) en (13) impliceert dat ter hoogte van de minder weerstandbiedende insluitingen het grensdragvermogen d_g van de paal, gelijk zou zijn aan $C_{k,d,min}$, hetgeen niet noodzakelijk het geval is. Deze onnauwkeurigheid kan worden vermeden, door in de formules (12) en (13) $C_{k,d,min}$ te vervangen door:

$$d'_{g,min,v} = \frac{H}{10 D} (C_{k,d,m}^{(a)})$$

wanneer $\frac{H}{10 D} < 1$ (14)

$$d'_{g,min,v} = (C_{k,d,m}^{(a)})_{min}$$

wanneer $\frac{H}{10 D} \geq 1$ (15)

waar H = de diepte onder het grondoppervlak voorstelt.

Men heeft dan:

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

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

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

$$d_{g,\mu} = d'_{g,min,\mu} + \frac{h_{i,\mu}}{10 D} [C_{k,d,m}^{(a)} - d'_{g,min,\mu}] \quad (17)$$

Het symbool v is een orde-cijfer voor alle niveau's gevonden over de hoogte $10 D$ boven het niveau waarop men d_g wenst te berekenen, en waar men heeft:

$$d'_{g,min,v} < C_{k,d,m}$$

Het symbool μ is een orde-cijfer voor alle niveau's gevonden over de dikte $3 D$ onder het niveau waarop men d_g wenst te berekenen, en waar men heeft:

$$d'_{g,min,\mu} < C_{k,d,m}^{(a)}$$

De uiteindelijke waarde van d_g op het beschouwde niveau is tenslotte de kleinste van alle berekende waarden $d_{g,v}$ en $d_{g,\mu}$.

De aangepaste methode van Meyerhof werd aangewend op de proeven van de I.R.A.B.A. De verkregen waarden zijn in de functie van de diepte weergegeven door de curven $A'_M B'_M C'_M$ van de figuur 10. Vastgesteld wordt dat met de aangepaste methode op alle diepten kleinere waarden dan de proefondervindelijke waarden EE worden verkregen.

IV. METHODE GESTEUND OP DE GELIJK-VORMIGHEIDSWETTEN

In een vroegere publicatie [4] werd aangegeven op welke wijze, uitgaande van de nagenoeg lineaire toe-

name van de konusweerstand welke bij de overgang van een slappe naar een weerstandbiedende laag wordt vastgesteld, op betrekkelijk eenvoudige wijze, het schaafeffect, om over te gaan van de konusweerstand $C_{k,d}$ naar het eenheidsgrensdraagvermogen d_g , kan worden ingevoerd.

In vele gevallen heeft het $C_{k,d}$ diagram echter een zeer onregelmatig verloop, waardoor de aanwending van deze eenvoudige werkwijze onmogelijk wordt. Er werd dan ook getracht een nieuwe methode uit te werken, welke als methode R.I.G. is aangeduid, en welke aanwendbaar is ongeacht de vorm van het konusweerstandsdigram.

In deze methode dienen vooreerst de waarden van de schijnbare wrijvingshoek ϕ' uit de resultaten der diepsonderingen te worden afgeleid [9] [10]. De aldus berekende waarden van ϕ' zijn kleiner dan de werkelijke waarden van de inwendige wrijvingshoek, en dit des te meer naarmate de invloed van de verdichting op het verschijnsel van het wegzinken van de konus groter is.

Verder dient het begrip « kritische diepte » te worden ingevoerd. Om in het geval van een diepe fundering te verkeren, dient de paalbasis op een voldoende diepte onder het maaiveld, en onder het bovenoppervlak van een meer weerstandbiedende laag te zijn gelegen. De diepte vanaf dewelke men met een diepe fundering te maken heeft, noemt men de kritische diepte h_{crit} .

De waarde van h_{crit} werd voor het geval van de zuivere oppersing en het twee-dimensionaal probleem door Meyerhof bestudeerd [11]. Om de invloed van de verdichting onrechtstreeks in rekening te brengen, wordt in de formule van Meyerhof de schijnbare wrijvingshoek ϕ' ingevoerd.

Uit de formules blijkt, dat alle andere parameters ongewijzigd zijnde, de kritische diepte evenredig met de breedte B van de strookvormige belasting toeneemt (fig. 15). Uitdrukkingen (formules 28, 33, 38) kunnen worden opgesteld welke op een gegeven diepte het verband tussen het grensdraagvermogen d_g van een strookvormige belasting met breedte B , en de sondeerwaarde $C_{w,d}$ voor een smalle lange wig met breedte b aangegeven. Deze formules gelden enkel in het geval van strookvormige belastingen en zuivere oppersing.

Deze formules kunnen niet zonder meer op het geval van palen worden overgedragen, en dit om een tweevoudige reden: vooreerst heeft men in geval van palen te maken met een 3-dimensionaal probleem, waarbij de oppersing gemakkelijker dan in een 2-dimensionaal probleem geschiedt, zodat de kritische diepte er vlugger wordt bereikt.

Op de kritische diepte van de grote paal (D), welke uiteraard veel groter is dan de kritische diepte voor de kleine konus (d), geschiedt de indringing van de kleine konus reeds hoofdzakelijk door verdichting, terwijl voor de grote paal de invloed van de verdichting t.o.v. die van de oppersing relatief nog minder belangrijk is.

Om na te gaan in hoeverre de resultaten verkregen met formules geldig voor het 2-dimensionaal geval en voor zuivere oppersing van de werkelijkheid kunnen afwijken, werden deze formules op de proeven van de I.R.A.B.A. toegepast. De berekende waarden zijn door de curven A" B" C" der figuur 19 voorgesteld. Ze wijken zeer sterk van de experimentele waarden EE af.

Deze belangrijke afwijking is aan de twee hierboven aangegeven redenen toe te schrijven:

Uit het diagram $C_{k,d}$ der figuur 19 blijkt duidelijk dat op de diepte $h'_{crit} = \frac{D}{d} h_{crit}$, de waarde van $C_{k,d}$ reeds hoofdzakelijk door het verdichtingsverschijnsel wordt beheerst. Uit dien hoofde heeft men op de kritische diepte h'_{crit} veeleer $d_g = C_{k,d}$ dan wel $d_g = \frac{1}{2} C_{k,d}$ zoals uit de theoretische formules volgt.

Anderzijds is in een 3-dimensionaal geval de kritische diepte, alle andere parameters ongewijzigd zijnde kleiner dan de diepte overeenstemmend met het 2-dimensionaal geval.

Door rationele invoering van de grensvoorwaarden, en proberenderwijze tewerkgaande vanaf de proeven van de I.R.A.B.A. wordt gesteld:

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

$$\text{met } \delta = \frac{b}{l}$$

en:

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

waarbij de hoeken β voor de conus (c) en voor de paal (p) uit de figuur 20 dienen te worden afgeleid.

De aldus aangepaste formules werden op de proeven van de I.R.A.B.A. aangewend. Men krijgt de curven A" B" C" der figuur 21 welke reeds vrij behoorlijk met de experimentele curven EE aansluiten, en meestal aan de veilige kant zijn gelegen.

Berekenen van waarden $d_g^{(1)}$ uitgaande van de veronderstelling van een homogene grond

In een eerste berekeningstrap wordt de op een bepaald niveau geregistreeerde $C_{k,a}$ -waarde onafhankelijk van de boven en onder dit niveau opgemeten waarden beschouwd. Er wordt eenvoudig aangenomen dat de laag gevonden op het beschouwde niveau zich over de volledige hoogte voordoet. Men berekent op die diepte een waarde $d_g^{(1)}$ door middel van de formule (62). Men tekent de curve van de aldus gevonden $d_g^{(1)}$ waarden. Voor diepten $h > h'_{crit}$ valt de curve $d_g^{(1)}$ samen met de curve $C_{k,a}$.

In geval van heterogene lagen, kunnen de aldus verkregen $d_g^{(1)}$ waarden niet weerhouden worden, aangezien systematisch de invloed van de lagen welke het beschouwde niveau omringen, werd verwaarloosd.

Aanpassing teneinde rekening te houden met de heterogeniteit der grondlagen — Methode van de aangroeiingsgradiënt

In principe kan worden gesteld dat wanneer een conus met diameter d over een diepte h_{crit} in een weerstandbiedende laag moet binnendringen om in de toestand van een diepe fundering te verkeren (fig. 22), een paal met diameter D moet binnendringen over een diepte h'_{crit} :

$$h'_{crit} = h_{crit} \frac{D}{d} \quad (63)$$

Uitgaande van deze veronderstelling, kan voor de aangroeiing Δd_g , over de diepte $z - z_0 = h_{crit}$ (fig. 23) de uitdrukking (73) worden geschreven.

Deze uitdrukking geldt voor het ideëel geval van de overgang van een homogene slappe laag naar een homogene weerstandbiedende laag, en met de voorwaarde dat de breukoppervlakken voor de kleine conus en voor de grote paal meetkundig gelijkvormig zijn, wanneer gelijkvormige diepten (dus niet gelijke diepten) onder het scheidingsoppervlak van de slappe en de weerstandbiedende laag worden beschouwd.

Aan deze voorwaarde is zeker niet voldaan wanneer men zich dicht bij het grondoppervlak bevindt, doch dit kan wel het geval zijn wanneer de ideële overgang van de slappe naar de weerstandbiedende laag op een voldoende diepte onder het maaiveld is gelegen.

De werkelijkheid is veel meer ingewikkeld, aangezien het $C_{k,a}$ -diagram meestal een zeer onregelmatig verloop heeft. Om deze werkelijkheid te benaderen,

er voor zorgend aan de veilige kant te blijven, worden de volgende benaderingen ingevoerd:

1°) Vrij brutaal wordt elke aangroeiing tussen 2 waarden $C_{k,a,j+1} > C_{k,a,j}$ van $C_{k,a}$, opgemeten op een tussenaafstand $a = 0,20$ m aan een overgang tussen twee geïdealiseerde lagen gelijkgesteld. Men stelt dus eenvoudig $h_{crit} = 0,20$ m en $C_{k,a,crit} = C_{k,a,j+1}$.

2°) Daar de formules welke met een geïdealiseerde overgang overeenstemmen niet vanaf het grondoppervlak geldig zijn, zal, ter verkrijging van veilige waarden in de formule (74) de waarde van $C_{k,a,j+1}$ door de « homogene » waarde $d_{g,j+1}^{(1)}$ der formule (62) worden vervangen. Aldus komt men tot de formule (75):

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

De formule (75) geldt voor de overgang van een slappe laag naar een weerstandbiedende laag. Ze wordt vanaf het grondoppervlak toegepast zolang $d_{g,j+1}^{(1)} > d_{g,j}$. Op de diepten waar de formule (75) voor $d_{g,j+1}$ een waarde geeft, welke groter is dan $d_{g,j+1}^{(1)}$, stelt men $d_{g,j+1} = d_{g,j+1}^{(1)}$.

Aldus kan uitgaande van de homogene waarden $d_{g,j}^{(1)}$, op elke diepte de waarde voor $d_{g,j+1}$, in de welke met de begrenzing van de aangroeiingsgradiënt rekening wordt gehouden, worden bepaald. Deze waarden $d_{g,j+1}$ worden de « dalende » waarden genoemd.

De reden, om dewelke bij de overgang van een slappe naar een weerstandbiedende laag met een schaal-effekt rekening dient te worden gehouden, heeft tot gevolg dat ook bij de overgang van een weerstandbiedende naar een slappe laag, een schaal-effekt moet worden ingevoerd.

Uitgaande van het niveau van een slappe laag, worden de opvolgende aflezingen naar boven toe door een orde-cijfer q aangeduid.

Aanvangend van het onderste peil van de diep-sondering, of van elke slappe insluiting, kan men thans de « stijgende » waarde $d_{g,q+1}$ berekenen, uitgaande van de formule:

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

Deze berekeningen worden volgens de stijgende vertikaal vervolgd, tot op het niveau waar $(d_{g,j+1})_{q+1} < d_{g,q}$. Vanaf dit niveau blijven de waarden $d_{g,j+1}$ geldig.

Nadat men de « homogene » waarden $d_g^{(1)}$, de « dalende » waarden $d_{g,j+1}$ en de « stijgende » waarden $d_{g,q+1}$ berekend heeft, wordt uiteindelijk tot een homogenisering (mixing of blending) overgegaan. Hierbij wordt over een laagdikte gelijk aan de diameter van de paalbasis de gemiddelde waarde van de berekende waarden $d_{g,q+1}$ berekend. Men zal nochtans veiligheidshalve de beperking invoeren dat het aldus berekend gemiddelde niet groter mag zijn dan de « homogene » waarde $d_{g,q+1}^{(1)}$, op de diepten waar deze kleiner is dan $C_{k,a,q+1}$. Dit is namelijk het geval in de buurt van het grondoppervlak.

De gehomogeniseerde waarden worden aangeduid door $d_g^{(m)}$.

De aldus geschetste methode werd op de proeven van de I.R.A.B.A. toegepast. De details van de berekeningen zijn gegeven in de tabel III, en de resultaten ervan zijn voorgesteld door de curven MNT der figuur 25. De vergelijking van deze curven met de experimentele curven E toont aan dat met de methode R.I.G. aan de veilige kant gelegen waarden werden verkregen, dit in tegenstelling met de methode L.G.M. welke te hoge waarden oplevert.

Opmerking verdient dat in het geval van de I.R.A.B.A. men met een homogene laag te maken heeft, zodat de methode van de rechte lijnige aanpassing zonder meer kan worden toegepast. Men vindt aldus de rechten L der figuur 25; de curven MNT situeren zich omheen de respectievelijke rechten.

Critisch onderzoek betreffende de invloed van de waarde der onderverdeling

In de beschreven methode werd brutaal aangenomen dat de schommeling van de $C_{k,a}$ -waarden met de overgang van 2 homogene lagen overeenstemt. Dit komt er op neer aan te nemen dat h_{crit} gelijk is aan de afstand « a » tussen twee achtereenvolgende aflezingen. Dit is vanzelfsprekend niet juist, aangezien de afstand « a » een parameter is waarover men willekeurig beschikt.

Er dient derhalve te worden nagegaan welke fouten worden begaan wanneer de kritische diepte h_{crit} door de willekeurige afstand « a » tussen 2 aflezingen wordt vervangen.

Om deze vraag te beantwoorden wordt vooreerst de geïdealiseerde overgang der figuur 26 beschouwd. Uit de

waarden van $C_{k,a}$, worden de waarden van $d_{g,j+1}$ afgeleid, een eerste maal door beschouwing van intervallen « a », en een tweede maal door beschouwing van intervallen « 2a ».

Uit de opgestelde formules volgt dat de door de berekening verkregen waarden van $d_{g,j+1}$ stijgen, wanneer de gekozen afstand a afneemt, indien:

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

Aan deze ongelijkheid wordt voor normale paallengten en paaldiameters, en voor de in de diepsonderingen gebruikelijke afzingsafstanden voldaan.

In een geïdealiseerd getallenvoorbeeld (fig. 27) werd de methode R.I.G. achtereenvolgens met $a = 0,10$ m; 0,20 m en 0,40 m toegepast. De berekeningen zijn in de tabellen IV gegeven. Vastgesteld wordt dat met $a = 0,10$ m de grootste waarde voor d_g wordt gevonden, en dat voor $a = 0,10$ m en $a = 0,40$ m de d_g waarden een verschil van slechts 16,65 % vertonen.

Indien de orde van grootte van dit verschil steeds dezelfde zou zijn als in het behandelde voorbeeld, zou men tot de conclusie komen dat men in de keuze van de tussenafstand « a » betrekkelijk vrij is. Dit blijkt echter niet steeds het geval te zijn, zoals o.m. door de behandeling van het geval der figuur 29, waarbij de conusweerstand $C_{k,a}$ uiterst snel met de diepte toenemen, kan worden bewezen. De berekeningen (zie tabel V) tonen alsdan aan dat de voor d_g verkregen waarden zeer sterk van de gekozen tussenafstand « a » afhankelijk zijn. Het behandelde voorbeeld toont klaar aan dat in bepaalde voorwaarden de invloed van de tussenafstand « a » al te belangrijk is, om deze tussenafstand zonder meer als de kritische diepte « h_{crit} » te kunnen beschouwen.

Verfijning in te voeren in de keuze van de tussenafstand « a »

Uit de conuswaarden $C_{k,a}$ kunnen op de gebruikelijke wijze de schijnbare wrijvingshoeken ϕ' worden afgeleid. Steunende op de waarden van ϕ' kunnen uit de figuur 20

op de curve $\beta_c = \frac{\pi}{2}$ de waarden van h_{crit} : d worden afgelezen. Wanneer $d = 3,6$ cm stelt men vast dat:

$$\begin{aligned} h_{crit} &\leq 25 \text{ cm} && \text{wanneer } \phi' < 32^\circ 30' \\ h_{crit} &\leq 45 \text{ cm} && \text{wanneer } \phi' < 37^\circ 30'. \end{aligned}$$

Anderzijds wanneer $p_{b,j} > \frac{1}{2} \gamma_k a \frac{D}{d}$ (117) zijn de voor $d_{g,j}$ berekende waarden des te kleiner naarmate de tussenafstand « a » groter is.

Men blijft derhalve aan de veilige kant wanneer een waarde « a » wordt ingevoerd welke groter is dan de werkelijke waarde van h_{crit} .

Dit leidt er tenslotte toe de volgende verfijning in te voeren. Wanneer $\varphi' < 32^{\circ}30'$ worden de berekeningen uitgevoerd met $a = 0,20$ m. Wanneer $32^{\circ}30' \leq \varphi' < 37^{\circ}30'$ worden de berekeningen achtereenvolgens uitgevoerd met $h_{crit} = 0,20$ m en $h_{crit} = 0,40$ m en voor $d_{g,j+1}$ wordt de kleinste van de twee aldus berekende waarden aangehouden. Tenslotte wanneer $\varphi' \geq 37^{\circ}30'$ worden de berekeningen achtereenvolgens uitgevoerd met $h_{crit} = 0,20$ m; $0,40$ m; en $0,60$ m, en de kleinste der voor $d_{g,j+1}$ verkregen waarden wordt aangehouden.

Om aan de veilige kant te blijven, volstaat het dat in het betrokken gebied een der waarden van φ' een der aangegeven grenzen overschrijdt, om de voorwaarden in verband met de hogere tranche te moeten aangehouden.

Anderzijds om geen al te grote accumulatie van veiligheidsmarges te verkrijgen, worden de voor h_{crit} te beschouwen waarden door de diameter D van de paal begrensd. Derhalve $h_{crit} \leq D$.

De « dalende » waarden $d_{g,j+1}$ worden tenslotte berekend met de formule (120):

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

waarin achtereenvolgens:

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

De waarden van h_{crit} worden dus gelijkgesteld aan een veelvoud van de tussenafstand « a » van de aflezingen. Wat de beperking van h_{crit} op de diameter D betreft, steeds om een overaccumulatie van veiligheidsmarges te vermijden, wordt aanvaard de waarden $h_{crit} \leq D$ naar het kleinere veelvoud « a » terug te brengen.

Voor het geval van aflezingen om de $0,20$ m ($a = 0,20$ m) met een conus $d = 3,6$ cm, worden tenslotte de voor h_{crit} in de formule (120) in te voeren waarden in functie van de waarde van de wrijvingshoek

φ' afgeleid uit de diepsonderingen, en van de diameter D van de paalvoet in de tabel VI aangegeven.

De verfijning dient enkel op de « dalende » waarden $d_{g,j+1}$ te worden toegepast. Voor de stijgende waarde $d_{g,q+1}$ kan de waarde $a = 0,20$ m worden behouden. Ook aan de berekening van de « gehomogeniseerde » waarden $d_g^{(m)}$ zijn geen wijzigingen aan te brengen.

Wanneer de aldus voorgestelde verfijning op de proeven van de I.R.A.B.A. wordt toegepast, waarbij rekening dient te worden gehouden met het feit dat deze proeven met een conus $\varnothing 4,5$ cm werden uitgevoerd, wordt vastgesteld dat de berekeningen met een waarde $h_{crit} = 0,20$ m kunnen worden verricht, zodat de verfijning geen wijziging aan de waarden der tabel III medebrengt.

IV. AANWENDING VAN DE VERSCHILLENDE METHODES OP DIEPSONDERINGEN UITGEVOERD TE ZWIJNAARDE

Op het terrein van het nieuwe laboratorium van het R.I.G. te Zwijnaarde werden diepsonderingen uitgevoerd op de plaats zelve waar achteraf Frankipalen met overbrede voet werden uitgevoerd. Deze palen werden onderworpen aan een proefbelasting, waarvan de resultaten in de tabel VI zijn aangegeven.

Voor deze palen werden de grensdragvermogens door weerstand aan de voet achtereenvolgens met de methode L.G.M., de aangepaste methode Meyerhof $M(a)$ en de methode R.I.G. berekend.

Volledigheidshalve werden vooreerst op alle diepten de waarden van d_g met deze 3 methodes berekend. De resultaten dezer berekeningen zijn in de tabel XII verzameld.

De variatie van d_g met de diepte wordt voor de methoden L.G.M., $M(a)$ en R.I.G. respectievelijk op de figuren 31, 32 en 33 aangegeven. Op bepaalde diepten zijn de waarden van d_g welke door de 3 methodes worden gegeven zeer verschillend terwijl ze op andere diepten praktisch gelijk zijn.

In de tabel XV heeft men de voor de beproefde palen de met de 3 methoden berekende waarden B_g van het grensdragvermogen door weerstand aan de basis, vergeleken met de waarden B_r welke uit de belastingsproeven werden afgeleid.

Vastgesteld wordt dat de methode R.I.G. waarden oplevert welke uitwat lager dan de opgemeten waarden zijn, doch voldoende dicht bij de opgemeten waarden zijn gelegen, om nog economisch aanvaardbaar te zijn.

**V. AANWENDING VAN DE METHODE RIG
OP DE PROEVEN VAN DE IRABA VER-
RICHT OP ZANDEN MET MIDDELMATIGE
EN LOSSE PAKKING**

Bij het opstellen van de methode R.I.G. werd hoofdzakelijk aangeknoopt met de proeven welke door de I.R.A.B.A. op zanden met dichte pakking werden uitgevoerd. Thans kan ook worden nagegaan hoe de methode van het R.I.G. zich t.o.v. de proeven door de I.R.A.B.A. verricht op zanden met middelmatige en losse pakking verhoudt.

Alle gegevens dienaangaande worden voor het zand met middelmatige pakking op de figuur 37 en in de tabel XVI, en voor het geval van losse pakking op de figuren 38 en in de tabel XVIII gevonden.

Wanneer mede rekening wordt gehouden met de dispersie welke in de proefondervindelijke gegevens optreedt, kan vanaf een betrekkelijk geringe diepte onder het grondoppervlak, tot een behoorlijke overeenstemming tussen de proefondervindelijke en berekende waarden worden geconcludeerd.

(wordt voortgezet)

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

(1^{re} 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 $\varnothing 216 \text{ mm}$.

(*) Pour le début voir page 191 du fasc. 4/1971/72.

Les détails des calculs de d_g par la méthode R.I.G. sont donnés au tableau XVII.

A la 3^e colonne du tableau sont renseignées les valeurs φ' déduites de l'essai. Les valeurs obtenues varient entre 40° 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 φ' 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 $\varnothing 320 \text{ mm}$.

TABLEAU XVI. — Pieux Ø = 0,52 m.

Profondeur m	Essai III			Pieux III			Essai IV			Pieux IV			Essai V			Pieux V			Essai VI			Pieux VI			
	C _{k,d} kg/cm ²	d _g		C _{k,d} kg/cm ²	d _g		C _{k,d} kg/cm ²	d _g		C _{k,d} kg/cm ²	d _g		C _{k,d} kg/cm ²	d _g		C _{k,d} kg/cm ²	d _g		C _{k,d} kg/cm ²	d _g		C _{k,d} kg/cm ²	d _g		
		L.G.M. kg/cm ²	M(a) kg/cm ²		R.I.G. kg/cm ²	L.G.M. kg/cm ²		M(a) kg/cm ²	R.I.G. kg/cm ²		L.G.M. kg/cm ²	M(a) kg/cm ²		R.I.G. kg/cm ²	L.G.M. kg/cm ²		M(a) kg/cm ²	R.I.G. kg/cm ²		L.G.M. kg/cm ²	M(a) kg/cm ²		R.I.G. kg/cm ²	L.G.M. kg/cm ²	M(a) kg/cm ²
0	0	4,88	0	4,88	0,48	0,65	0	4,88	0	0	0,65	2,40	0	2,40	0	0	4,23	2,40	0	4,23	0,39	0,39	12,27	0	0
0,20	4,33	13,17	0,62	8,93	0,48	2,00	2,33	8,93	0,48	0,65	0,65	5,60	0,34	5,60	0,34	0,39	4,33	5,60	0,34	4,33	0,39	0,39	22,48	0,62	5,89
0,40	22,38	20,85	0,90	17,75	1,17	3,54	10,36	17,75	1,17	2,27	2,27	1,904	0,84	1,904	0,84	0,96	8,36	1,904	0,84	8,36	0,96	0,96	25,71	1,85	5,72
0,60	80,38	24,46	2,95	18,17	2,24	6,55	64,38	18,17	2,24	6,55	6,55	2,353	4,22	2,353	4,22	2,17	22,38	2,353	4,22	22,38	2,17	2,17	25,86	2,81	9,26
0,80	418,41	29,23	4,39	17,37	3,37	8,23	98,61	17,37	3,37	8,23	8,23	2,499	3,00	2,499	3,00	3,62	78,41	2,499	3,00	78,41	3,62	3,62	25,82	4,10	11,80
1,00	446,44	14,95	5,95	16,63	4,29	9,64	84,44	16,63	4,29	9,64	9,64	2,477	4,52	2,477	4,52	4,57	86,44	2,477	4,52	86,44	4,57	4,57	25,41	5,64	13,72
1,20	844,72	17,66	7,68	16,03	6,23	10,84	80,47	16,03	6,23	10,84	10,84	2,476	6,14	2,476	6,14	5,57	78,47	2,476	6,14	78,47	5,57	5,57	24,96	7,61	16,47
1,40	48,49	17,00	8,84	15,93	7,89	12,34	78,49	15,93	7,89	12,34	12,34	2,468	7,96	2,468	7,96	6,03	68,50	2,468	7,96	68,50	6,03	6,03	25,12	9,67	15,97
1,60	40,62	16,86	8,75	15,71	9,53	13,82	76,62	15,71	9,53	13,82	13,82	2,446	9,80	2,446	9,80	7,95	64,62	2,446	9,80	64,62	7,95	7,95	25,33	11,89	17,53
1,80	32,55	16,87	9,08	15,39	9,96	15,09	64,55	15,39	9,96	15,09	15,09	2,420	11,68	2,420	11,68	9,65	56,55	2,420	11,68	56,55	9,65	9,65	25,56	13,79	18,27
2,00	30,28	17,33	10,28	14,84	10,57	16,59	48,58	14,84	10,57	16,59	16,59	2,389	12,43	2,389	12,43	10,74	54,58	2,389	12,43	54,58	10,74	10,74	25,76	14,42	19,78
2,20	22,61	19,51	11,69	15,12	10,81	18,19	40,61	15,12	10,81	18,19	18,19	2,451	13,69	2,451	13,69	12,37	48,61	2,451	13,69	48,61	12,37	12,37	25,90	14,49	20,03
2,40	23,64	20,90	12,36	14,65	12,60	19,81	32,64	14,65	12,60	19,81	19,81	2,735	14,43	2,735	14,43	13,82	42,64	2,735	14,43	42,64	13,82	13,82	25,98	14,45	20,30
2,60	34,66	20,66	15,63	21,76	14,55	22,47	40,66	21,76	14,55	22,47	22,47	3,282	20,35	3,282	20,35	20,86	36,66	3,282	20,35	36,66	20,86	20,86	26,63	14,64	20,64
2,80	46,69	27,74	17,82	24,43	16,47	25,22	46,69	24,43	16,47	25,22	25,22	3,572	22,84	3,572	22,84	24,78	42,69	3,572	22,84	42,69	24,78	24,78	28,69	15,26	20,94
3,00	60,72	28,22	18,52	26,47	17,48	27,73	42,72	26,47	17,48	27,73	27,73	3,745	26,72	3,745	26,72	28,59	40,72	3,745	26,72	40,72	28,59	28,59	32,50	16,04	21,39
3,20	55,75	28,23	18,63	26,81	18,34	30,09	50,75	26,81	18,34	30,09	30,09	3,796	28,76	3,796	28,76	30,02	48,75	3,796	28,76	48,75	30,02	30,02	31,98	16,51	21,54
3,40	44,78	28,18	18,92	27,06	19,60	31,56	52,78	27,06	19,60	31,56	31,56	3,739	28,76	3,739	28,76	30,52	42,78	3,739	28,76	42,78	30,52	30,52	33,35	16,71	21,80
3,60	42,80	29,23	20,59	30,38	21,12	32,20	56,80	30,38	21,12	32,20	32,20	3,685	30,44	3,685	30,44	30,76	40,80	3,685	30,44	40,80	30,76	30,76	33,39	17,00	22,03
3,80	32,83	34,23	21,82	34,53	23,03	32,47	52,83	34,53	23,03	32,47	32,47	3,498	32,00	3,498	32,00	30,19	42,83	3,498	32,00	42,83	30,19	30,19	38,43	17,13	22,13
4,00	56,86	34,81	23,68	33,44	23,85	32,01	62,86	33,44	23,85	32,01	32,01	3,740	33,05	3,740	33,05	30,67	44,86	3,740	33,05	44,86	30,67	30,67	36,37	17,33	22,33
4,20	52,88	32,30	25,35	32,58	25,75	34,32	64,88	32,58	25,75	34,32	34,32	3,669	30,25	3,669	30,25	30,84	46,88	3,669	30,25	46,88	30,84	30,84	34,76	17,45	22,49
4,40	42,82	32,86	27,19	32,34	26,62	30,50	68,82	32,34	26,62	30,50	30,50	3,650	29,03	3,650	29,03	30,24	44,82	3,650	29,03	44,82	30,24	30,24	34,25	17,57	22,60
4,60	56,94	33,35	27,40	32,28	27,50	29,85	44,94	32,28	27,50	29,85	29,85	3,652	31,20	3,652	31,20	30,94	42,94	3,652	31,20	42,94	30,94	30,94	34,66	17,66	22,66
4,80	44,97	32,94	28,44	32,85	28,68	28,80	40,97	32,85	28,68	28,80	28,80	3,835	31,28	3,835	31,28	30,07	36,07	3,835	31,28	36,07	30,07	30,07	34,97	17,77	22,77
5,00	39,00	33,04	27,26	32,04	27,51	27,56	39,00	32,04	27,51	27,56	27,56	4,497	43,35	4,497	43,35	30,57	41,00	4,497	43,35	41,00	30,57	30,57	38,32	17,83	22,83
5,20	35,09	34,61	29,57	32,76	28,59	27,09	41,03	32,76	28,59	27,09	27,09	4,493	45,46	4,493	45,46	30,58	38,03	4,493	45,46	38,03	30,58	30,58	37,08	18,13	23,13
5,40	39,46	35,23	33,22	33,05	31,05	26,45	43,06	33,05	31,05	26,45	26,45	4,446	46,44	4,446	46,44	30,58	41,06	4,446	46,44	41,06	30,58	30,58	34,29	18,29	23,29
5,60	43,08	38,70	35,12	32,25	34,05	25,13	42,08	32,25	34,05	25,13	25,13	4,441	46,87	4,441	46,87	30,58	42,08	4,441	46,87	42,08	30,58	30,58	30,94	18,25	23,25
5,80	47,41	29,23	36,82	28,97	36,82	23,99	39,41	28,97	36,82	23,99	23,99	4,542	48,82	4,542	48,82	30,58	45,41	4,542	48,82	45,41	30,58	30,58	27,25	18,41	23,41

600	5594	2659	3948	3071	5914	2254	3532	2268	5744	2635	4945	2570	10144	2511	3848	2557
620	5917	2745	3898	2973	5817	2184	3058	2433	5147	2766	3782	2406	6117	2374	2861	2739
640	7049	2832	4006	2855	4940	2120	2444	2044	4549	2742	3475	2556	5320	2586	2576	2208
660	5122	2428	4402	2747	3782	2073	2484	2009	3922	2675	3272	2425	2422	2475	2277	2451
680	4725	2369	3983	2565	4926	2078	2408	2040	3925	2450	2983	4998	2425	2452	2448	2456
700	5928	2344	3749	2409	2328	2150	2523	2101	3728	446	2902	4888	2428	2289	2469	2465
720	4871	2264	3084	2245	2931	2454	2492	2477	3731	446	2720	4755	2534	2341	2469	2465
740	4334	2245	2738	2120	3434	2437	2422	2466	2534	446	2576	4416	4434	2348	2488	2488
760	5536	2435	2509	2033	2326	2428	2375	2160	2526	446	2448	4653	4436	2300	2504	2488
780	2419	2088	2394	4977	2749	2420	2395	2158	2499	446	2507	4581	2439	2098	2492	2543
800	2942	2056	2384	4977	2342	2452	2403	2466	2742	446	2386	4502	2542	2225	2542	2542
820	2545	2036	2328	2004	2445	2409	2426	2453	2745	446	2334	4444	2745	2445	2602	2602
840	4949	2424	2424	2065	2748	2419	2462	2450	2748	446	2087	4346	2748	2445	2646	2642
860	2350	2431	2424	2460	2960	1909	2467	2437	2750	446	1941	4253	3750	2445	2683	2680
880	2953	2624	2565	2255	2453	1960	2486	2446	3453	446	1835	4231	4326	2445	2665	2676
900	3356	2626	2627	2332	2756	2079	2544	2446	446	446	1840	4259	4326	2445	2665	2676
920	3159	2331	2687	2371	3959	2067	2602	2445	4758	446	1827	4231	4326	2445	2665	2676
940	4462	2431	2687	2367	3962	2035	2604	1992	4758	446	1827	4231	4326	2445	2665	2676
960	4464	2487	2728	2345	4064	2037	2729	1924	4758	446	1827	4231	4326	2445	2665	2676
980	4967	2488	2847	2401	4967	2044	2840	1843	4967	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1000	4570	2482	2842	2329	4470	1978	2784	1745	4470	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1020	5373	2465	3071	2477	4473	1949	2639	1685	4473	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1040	5476	2401	3452	2053	4576	1833	2465	1660	4473	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1060	5378	2305	3458	1946	4578	1830	2445	1701	4473	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1080	5784	2462	3982	1946	4981	1849	2445	1849	4981	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1100	2914	2487	3045	1976	2484	2075	2524	1964	4981	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1120	4787	2843	3309	2420	3587	2425	2524	2462	4981	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1140	4489	3246	3627	2384	3590	2425	2524	2462	4981	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1160	4982	3438	3696	2646	5492	3556	2774	2741	22592	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1180	4585	3784	3785	2953	4985	3872	2937	3043	3043	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1200	6388	4083	3880	3232	7498	4224	3463	3535	22000	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1220	4244	4244	4022	3656	6801	4753	3520	4075	20604	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1240	7404	4426	4256	4406	9204	4823	3877	4630	18906	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1260	7406	4726	4476	4468	11406	4988	4440	4836	18906	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1280	9009	4849	4682	4739	15309	4850	4425	4987	13009	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1300	13412	4774	4762	4888	15442	4571	4409	4941	14442	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676
1320	11445	4587	4938	4907	8245	4267	4661	4961	6645	446	1956	4231	4326	2445	2665	2676

1810	8218	4504	5032	4977	5418	4434	5224	5138	6618	6853	7428	7025	7018	5637	5233	5806
1820	4920	4915	5782	5771	4820	5814	6185	5569	8520	7744	8035	7433	6120	6594	5855	6103
1830	6823	5812	6377	5635	5623	6980	6714	6094	9043	8781	8840	7921	13823	6869	5789	6411
1840	3226	7289	7104	6328	10626	7197	7207	6507	11626	9490	8920	4343	13026	6531	6326	660
1850	10829	8692	7183	7019	18429	7304	7646	6793	15083	8671	9183	8603	9029	6759	6940	6743
1860	18832	8886	7626	7583	16232	7894	8004	6819	21432	9497	9241	8603	11432	6853	7287	6851
1870	20834	8964	7980	7874	14634	6120	8183	6729	23834	9434	9315	8446	11834	6800	7421	6535
1880	18237	8955	8201	7966	11237	6917	7726	6641	18237	9212	9415	8240	11037	6593	7620	6412
1890	13040	8982	8589	7770	9840	5975	7369	6471	12640	9072	8974	8004	13040	6390	7483	6283
1900	11943	7191	8720	7637	8643	6924	8068	6314	11443	8199	8923	7778	7443	6180	7206	6189
1910	15846	7202	9030	7166	9046	6199	8830	6134	14447	8115	9583	7562	9446	6235	7202	6106
1920	15848	7045	9489	7253	8848	672	9226	5920	8448	8491	10445	7348	8248	6265	7885	6030
1930	12251	6869	10263	6989	13051	6766	9573	5665	10651	7272	11356	7422	9451	6490	8650	5956
1940	13454	6736	10983	6686	10864	6873	8300	5376	18685	7013	11762	6844	8287	7208	8237	5865
1950	15557	6555	11429	6334	14257	6207	8572	5133	19017	6749	12202	6486	14257	7185	9016	5742
1960	12860	6298	10915	5918	9460	5861	8825	4943	17060	6429	11351	6027	21060	6968	9203	5553
1970	19062	5995	8833	5443	5462	5782	8965	4782	30262	5985	9680	5565	18662	6684	9278	5302
1980	12265	5797	7460	5068	9665	5822	8144	4641	30965	5383	7633	5803	14465	5097	8963	5072
1990	12268	4820	6891	4788	30268	578	7498	4488	12968	5036	5849	4844	10668	4943	7615	4878
2000	5271	4400	6543	7610	9471	4268	6299	4330	7671	5028	5744	4683	8871	4881	7657	4724
2010	8674	4324	6557	7541	5474	4176	5720	4198	6674	5040	5410	4636	8234	4877	7455	4618
2020	5836	4842	6138	4456	5476	4134	5702	4095	5876	4917	5302	4655	9476	4351	7067	4482
2030	7079	4180	4357	4357	7079	4065	5581	3983	5279	4428	5282	4628	6279	4224	6780	4379
2040	6682	6285	4244	4244	6682	3684	5763	3864	5282	4586	4528	4586	3082	4125	6748	4191
2050	7288	6490	4145	4145	7288	3620	4770	3753	5284	4685	4484	4556	6485	4040	6073	4043
2060	6490	8083	3963	3963	6490	3579		3652	4218	4507	4407	4407	7488	3964		3866
2070	4086	4086	3480	3480	4086	3480		3553	6990	4445	4445	4445	8290			3750
2080	3699	3699	3419	3419	3699	3419		3480	6683	4387	4387	4387	4083			3663
2090	4102	4102	3737	3737	4102	3737		3419	7436	4699	4699	4699	6096			3609
2100	3904	3904	3704	3704	3904	3704		3374	6702	4602	4602	4602	7859			3523
2110	4107	4107	3907	3907	4107	3907		3341	6702	4404	4404	4404	8502			3542
2120			3341	3341		3341		3346					5502			3577
2130			3346	3346		3346		3346					5502			3621
2140			3346	3346		3346		3346					5502			

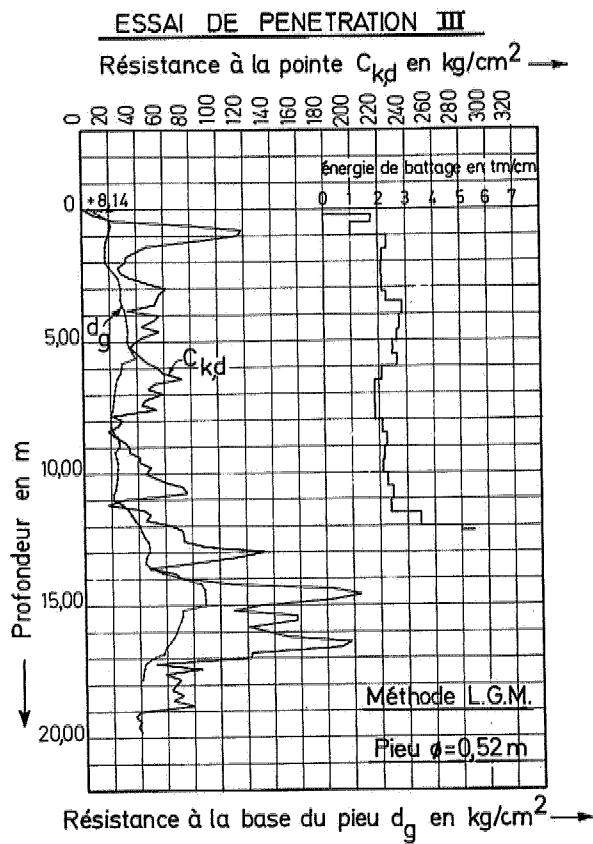


Fig. 34a.

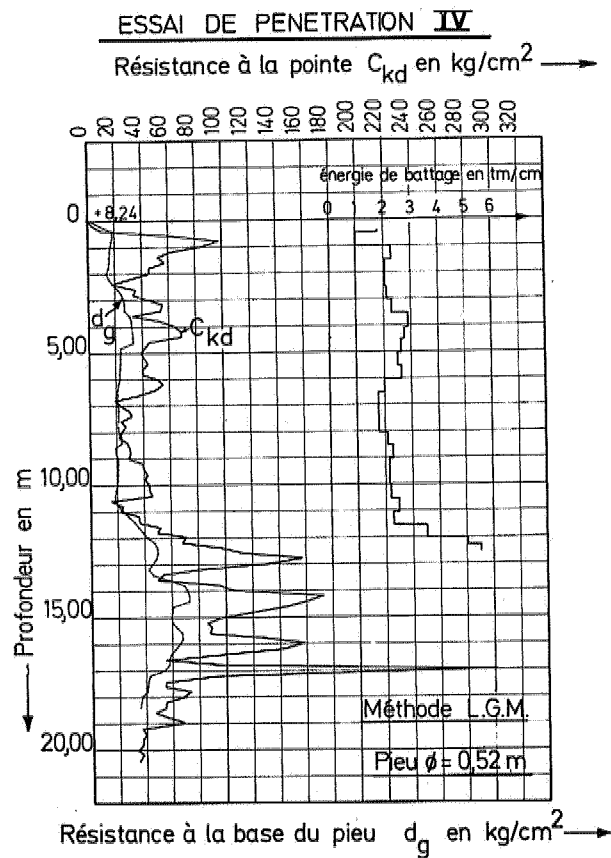


Fig. 34b.

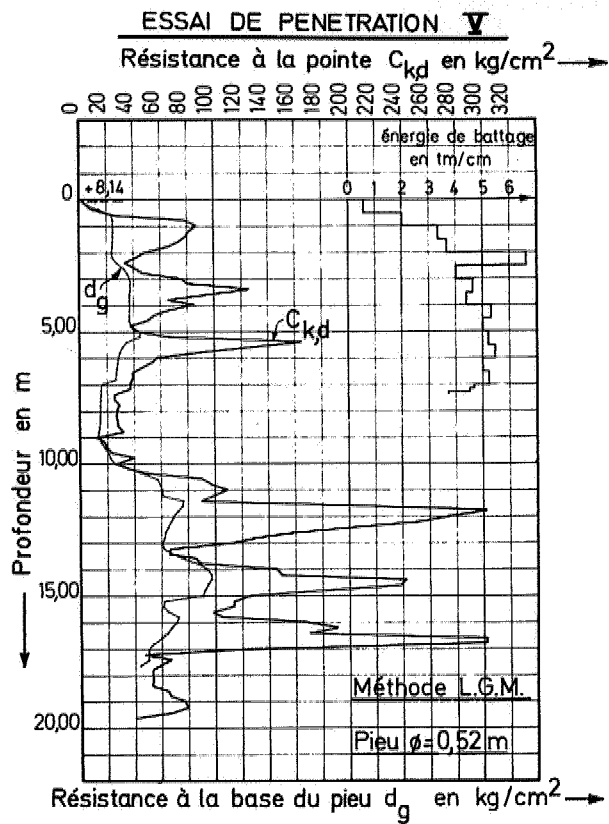


Fig. 34c.

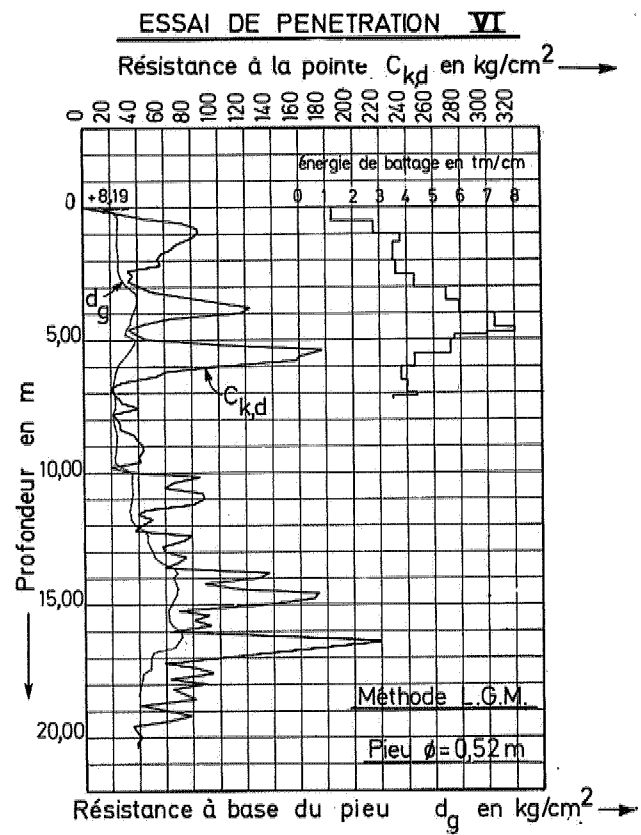


Fig. 34d.

ESSAI DE PENETRATION III

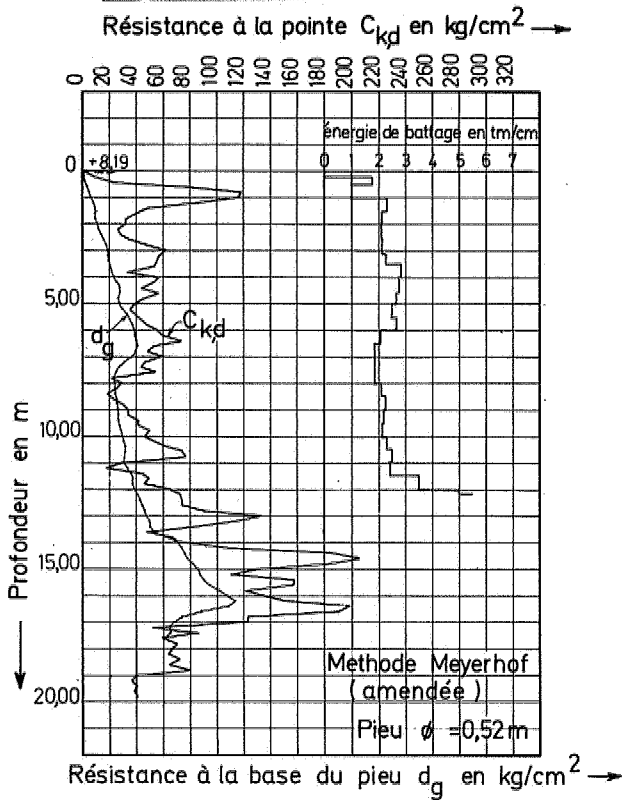


Fig. 35a.

ESSAI DE PENETRATION V

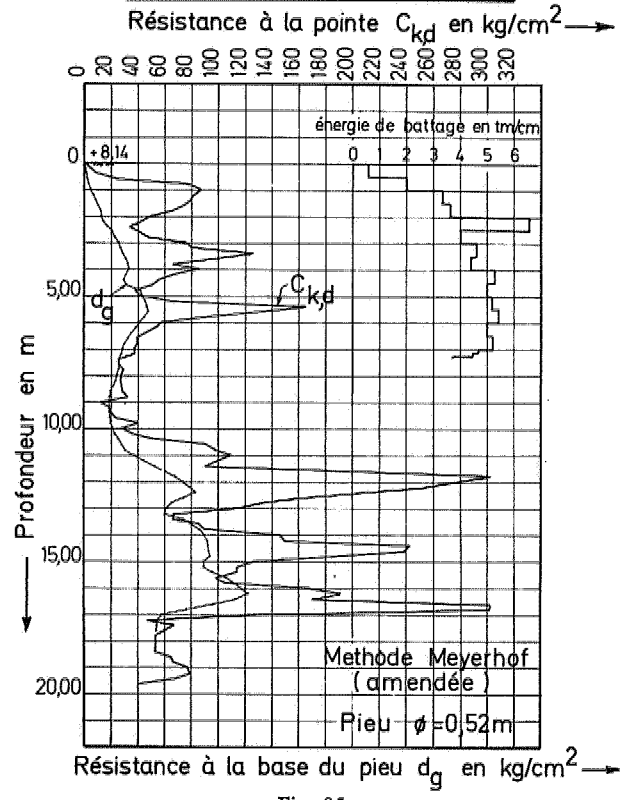


Fig. 35c.

ESSAI DE PENETRATION IV

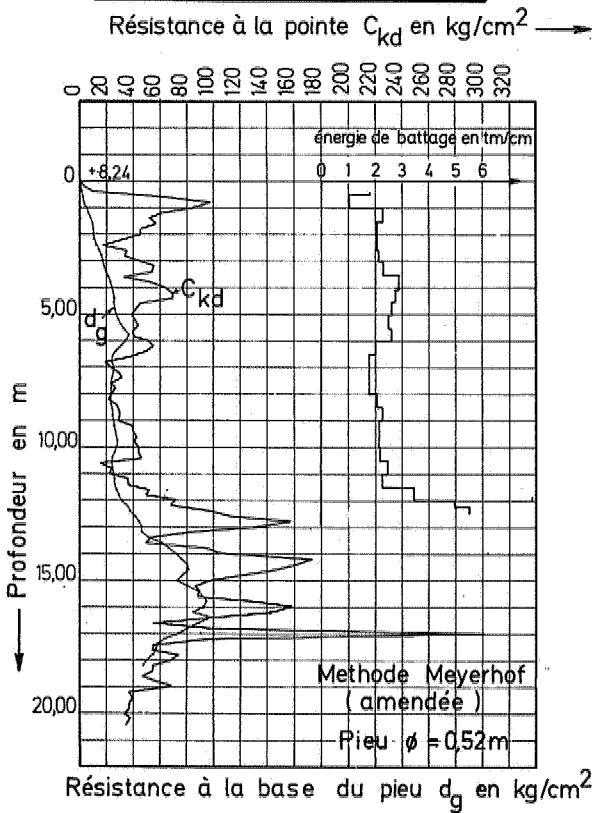


Fig. 35b.

ESSAI DE PENETRATION VI

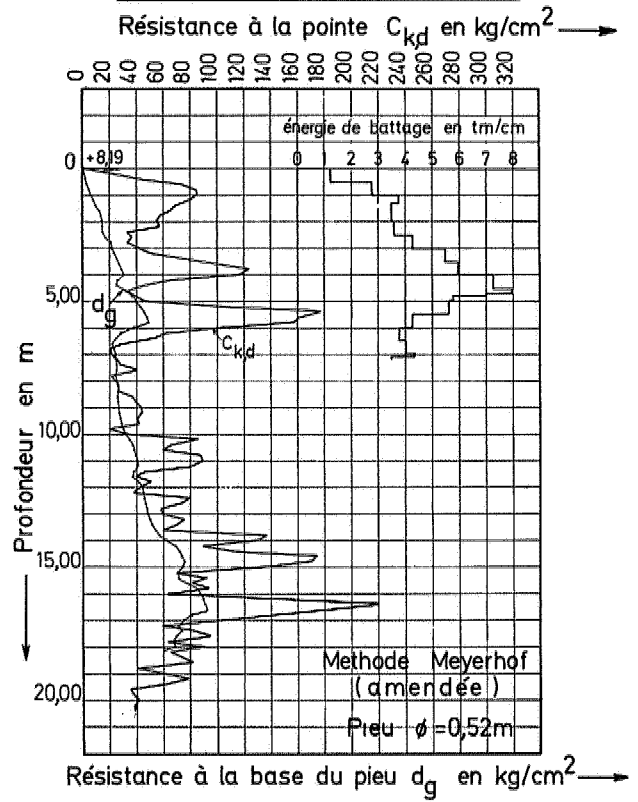


Fig. 35d.

ESSAI DE PENETRATION III

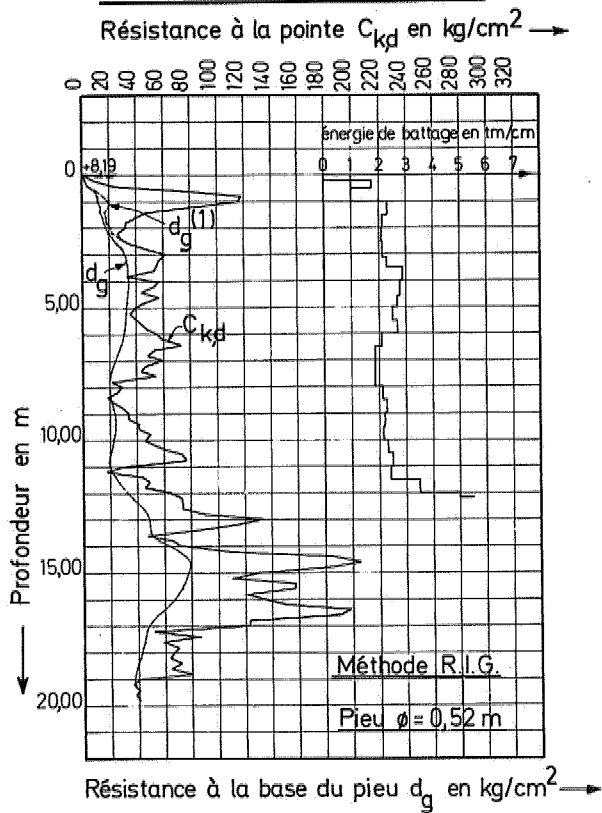


Fig. 36a.

ESSAI DE PENETRATION V

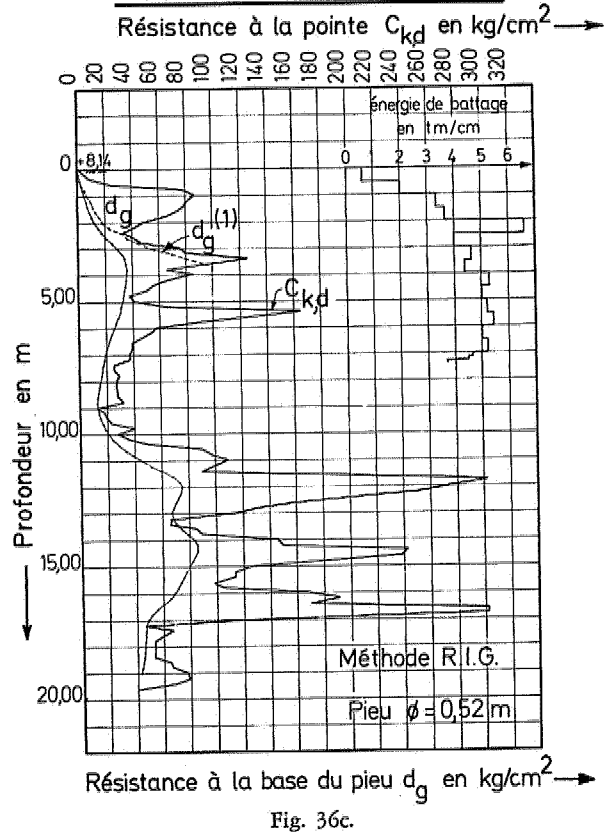


Fig. 36c.

ESSAI DE PENETRATION IV

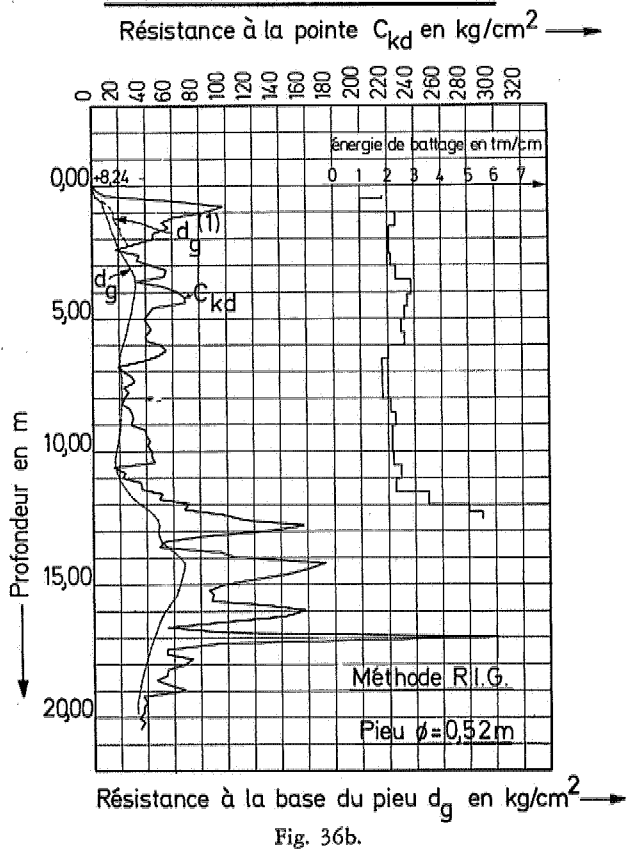


Fig. 36b.

ESSAI DE PENETRATION VI

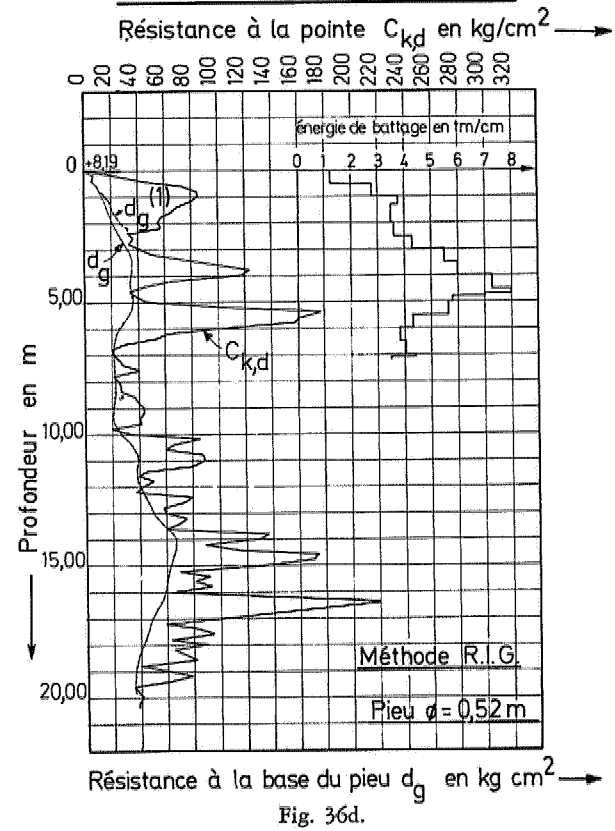
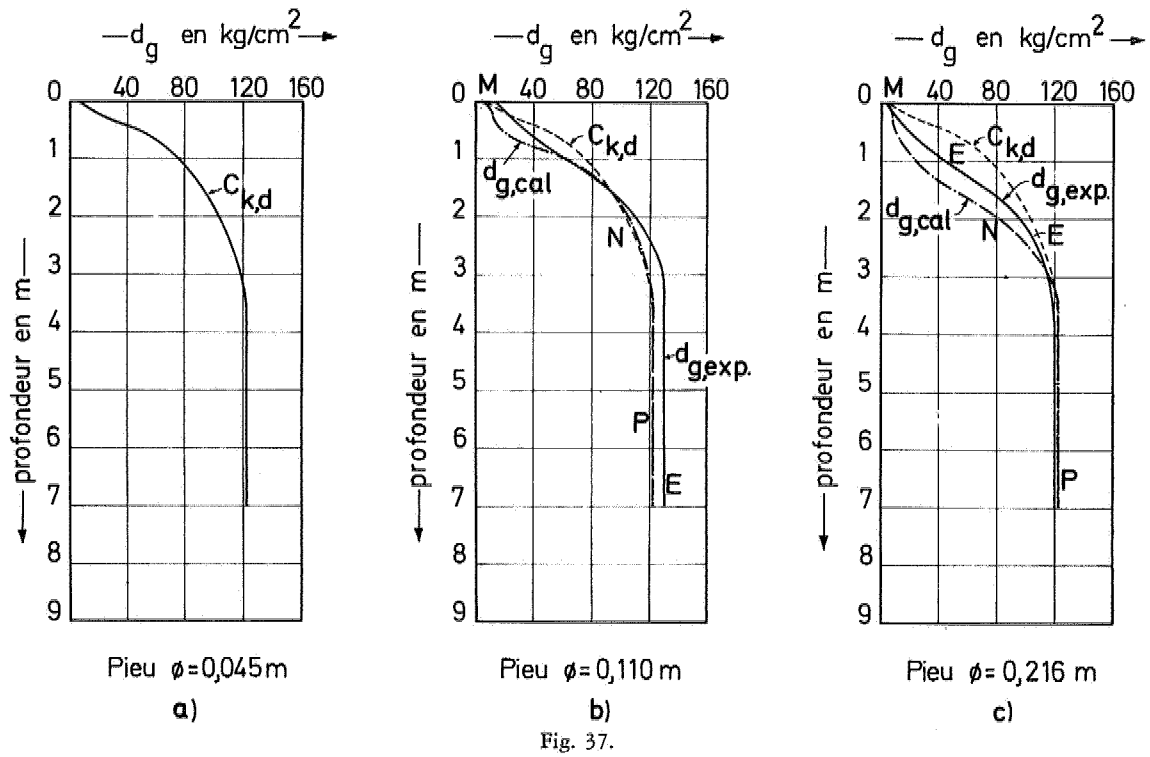


Fig. 36d.

ESSAIS de l'IRABA

Sable de compacité moyenne – Application de la méthode R.I.G.



ESSAIS de l'IRABA

Sable de faible compacité – Application de la méthode R.I.G.

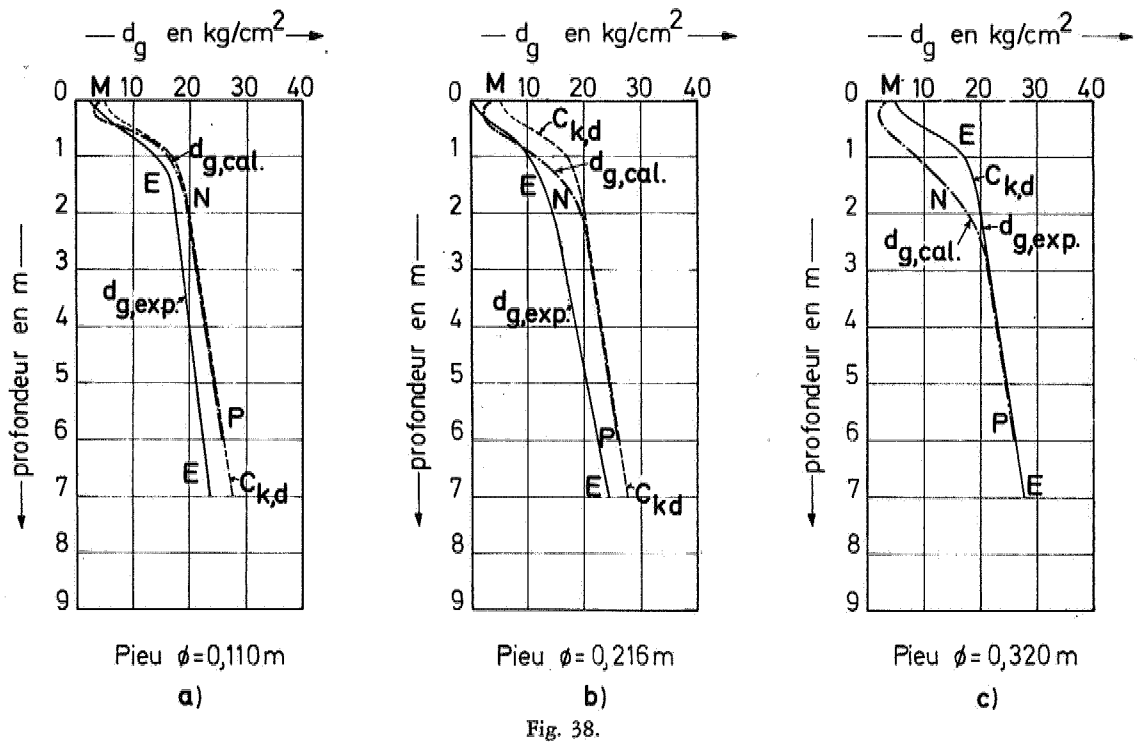


TABLEAU XVIII. — Essais de l'IRABA. Sable de faible compacité — Valeurs de d_g calculées par la méthode R.I.G.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
profond. h	$C_k d$	P_b kg/cm ²	φ, φ'	$\frac{h}{d}$	β_c	$\frac{h}{D}$	β_p	$d_g^{(1)}$ kg/cm ²	$d_{g,1+1}$ kg/cm ²	$d_{g,1+1}$ kg/cm ²	$d_{g,1+1}$ kg/cm ²	$\frac{h}{D}$	β_p	$d_g^{(1)}$ kg/cm ²	$d_{g,1+1}$ kg/cm ²	$d_{g,1+1}$ kg/cm ²	$d_{g,1+1}$ kg/cm ²	β_p	$d_g^{(1)}$ kg/cm ²	$d_{g,1+1}$ kg/cm ²	$d_{g,1+1}$ kg/cm ²	$d_{g,1+1}$ kg/cm ²	$d_{g,1+1}$ kg/cm ²	$d_{g,1+1}$ kg/cm ²
0	5	0	> 40°	0	0	0	0	5	3,97	2	0	0	0	5	5	3,60	0	0	5	5	3,13	5	3,13	5
0,20	6	0,32	37°15'	4,44	1,15	1,82	0,56	2,93	2,93	4	0,93	0,32	0,32	2,19	2,19	2,19	1	0,22	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	6
0,40	9	0,63	30°	8,83	1,57	3,64	1,05	4,94	4,94	6	1,85	0,60	0,60	2,94	2,94	2,94	4	0,44	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	9
0,60	12	0,95	25°	13,23	1,57	5,45	1,57	10,00	10,00	9	2,78	0,88	0,88	4,38	4,38	4,38	6	0,64	4,28	4,28	4,28	4,28	4,28	12
0,80	14,5	1,28	22°15'	18,33	1,57	7,27	1,57	14,5	14,5	12	3,70	1,18	1,18	5,94	5,94	5,94	9	0,85	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	14,5
1,00	17	1,58	21°45'	22,22	1,57	9,09	1,57	17	17	14	4,63	1,55	1,55	7,55	7,55	7,55	12	1,05	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	17
1,20	18,5	1,80	20°45'	25,45	1,57	10,76	1,57	18,5	18,5	15	5,56	1,57	1,57	9,15	9,15	9,15	14	1,33	10,74	10,74	10,74	10,74	10,74	18,5
1,40	18	2,21	25°45'	25,45	1,57	12,55	1,57	18	18	16	6,48	1,57	1,57	10,76	10,76	10,76	16	1,57	12,55	12,55	12,55	12,55	12,55	18
1,60	18,5	2,53			1,57	14,34	1,57	18,5	18,5	17	7,41	1,57	1,57	12,55	12,55	12,55	17	1,57	14,34	14,34	14,34	14,34	14,34	18,5
1,80	19	2,84			1,57	16,13	1,57	19	19	18	8,34	1,57	1,57	14,34	14,34	14,34	18	1,57	16,13	16,13	16,13	16,13	16,13	19
2,00	20	3,14			1,57	17,92	1,57	20	20	19	9,27	1,57	1,57	16,13	16,13	16,13	19	1,57	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	20
2,20	20,3	3,48			1,57	19,71	1,57	20,3	20,3	20	10,20	1,57	1,57	17,92	17,92	17,92	20	1,57	19,71	19,71	19,71	19,71	19,71	20,3
2,40	20,7	3,79			1,57	21,50	1,57	20,7	20,7	20,5	11,13	1,57	1,57	19,71	19,71	19,71	20,5	1,57	21,50	21,50	21,50	21,50	21,50	20,7
2,60	21	4,11			1,57	23,29	1,57	21	21	20,85	12,06	1,57	1,57	21,50	21,50	21,50	21,5	1,57	23,29	23,29	23,29	23,29	23,29	21
2,80	21,3	4,42			1,57	25,08	1,57	21,3	21,3	21,4	13,00	1,57	1,57	23,29	23,29	23,29	21,4	1,57	25,08	25,08	25,08	25,08	25,08	21,3
3,00	21,5	4,74			1,57	26,87	1,57	21,5	21,5	21,8	13,94	1,57	1,57	25,08	25,08	25,08	21,8	1,57	26,87	26,87	26,87	26,87	26,87	21,5
3,20	21,8	5,05			1,57	28,66	1,57	21,8	21,8	21,9	14,88	1,57	1,57	26,87	26,87	26,87	21,9	1,57	28,66	28,66	28,66	28,66	28,66	21,8
3,40	22	5,37			1,57	30,45	1,57	22	22	22,5	15,82	1,57	1,57	28,66	28,66	28,66	22	1,57	30,45	30,45	30,45	30,45	30,45	22
3,60	22,3	5,69			1,57	32,24	1,57	22,3	22,3	22,5	16,76	1,57	1,57	30,45	30,45	30,45	22,5	1,57	32,24	32,24	32,24	32,24	32,24	22,3
3,80	22,7	6,00			1,57	34,03	1,57	22,7	22,7	22,85	17,70	1,57	1,57	32,24	32,24	32,24	22,85	1,57	34,03	34,03	34,03	34,03	34,03	22,7
4,00	23	6,32			1,57	35,82	1,57	23	23	23,5	18,64	1,57	1,57	34,03	34,03	34,03	23,5	1,57	35,82	35,82	35,82	35,82	35,82	23
4,20	23,3	6,64			1,57	37,61	1,57	23,3	23,3	23,5	19,58	1,57	1,57	35,82	35,82	35,82	23,5	1,57	37,61	37,61	37,61	37,61	37,61	23,3
4,40	23,7	6,95			1,57	39,40	1,57	23,7	23,7	23,85	20,52	1,57	1,57	37,61	37,61	37,61	23,85	1,57	39,40	39,40	39,40	39,40	39,40	23,7
4,60	24	7,27			1,57	41,19	1,57	24	24	24,5	21,46	1,57	1,57	39,40	39,40	39,40	24	1,57	41,19	41,19	41,19	41,19	41,19	24
4,80	24,3	7,58			1,57	42,98	1,57	24,3	24,3	24,5	22,40	1,57	1,57	41,19	41,19	41,19	24,5	1,57	42,98	42,98	42,98	42,98	42,98	24,3
5,00	24,7	7,90			1,57	44,77	1,57	24,7	24,7	24,85	23,34	1,57	1,57	42,98	42,98	42,98	24,85	1,57	44,77	44,77	44,77	44,77	44,77	24,7
5,20	25	8,22			1,57	46,56	1,57	25	25	25,5	24,28	1,57	1,57	44,77	44,77	44,77	25,5	1,57	46,56	46,56	46,56	46,56	46,56	25
5,40	25,3	8,53			1,57	48,35	1,57	25,3	25,3	25,5	25,22	1,57	1,57	46,56	46,56	46,56	25,5	1,57	48,35	48,35	48,35	48,35	48,35	25,3
5,60	25,5	8,85			1,57	50,14	1,57	25,5	25,5	25,5	26,16	1,57	1,57	48,35	48,35	48,35	25,5	1,57	50,14	50,14	50,14	50,14	50,14	25,5
5,80	25,8	9,16			1,57	51,93	1,57	25,8	25,8	25,8	27,10	1,57	1,57	50,14	50,14	50,14	25,8	1,57	51,93	51,93	51,93	51,93	51,93	25,8
6,00	26,0	9,48			1,57	53,72	1,57	26,0	26,0	26	28,04	1,57	1,57	51,93	51,93	51,93	26	1,57	53,72	53,72	53,72	53,72	53,72	26

Les détails des calculs de la méthode R.I.G. sont donnés au tableau XVIII.

Les valeurs de φ' 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/cm². 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 ²
pieu $\varnothing 110$ mm	$d_g = 13$ kg/cm ²
$\varnothing 216$ mm	$d_g = 10$ kg/cm ²
$\varnothing 320$ mm	$d_g = 16$ kg/cm ²

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^e deel)*

VI. VERGELIJKING VAN DE GRENSDRAAG- VERMOGENS DOOR WEERSTAND AAN DE BASIS BEREKEND MET DE METHODE R.I.G. EN DE WAARDEN AFGELEID UIT BE- LASTINGSPROEVEN 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

grond wordt geheid, en achteraf geen voorzieningen zijn getroffen om onder hoge druk een verbrede betonvoet 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

(*) Voor de aanvang zie n^o 4/1971/72, blz. 261.

en uit de proeven afgeleide waarden B_r aangegeven. De verhouding van $B_g : B_r$ varieert tussen 0,81 en 1,49.

Voor de palen van het Vibro-type vindt men de hoogste waarden 1,39 en 1,49 voor deze verhouding, hoewel bij de berekeningen reeds van de tweede aflezing van de conus werd uitgegaan. Om in het geval van Vibropalen met verbrede basisplaat te verkrijgen dat de berekeningsmethode waarden levert welke met de proefondervindelijke waarden overeenstemmen dient, niet enkel de tweede lezing te worden ingevoerd, doch kan uitsluitend op het oppervlak van de schachtdoorsnede worden gerekend. Dit blijkt uit de getallen van de 2 laatste regels der tabel XIX.

Voor de palen van het Simpol-type, met verbrede plaat, en in zoverre men op de tweede lezing steunt,

verkrijgt men voor de verhouding $B_g : B_r$ waarden begrepen tussen 0,81 en 1,20.

Tenslotte voor Frankipalen, welke zonder verbrede basis worden ingeheid, en waarna, eerst na het bereiken van de gewenste diepte, een verbreding onder hoge energie wordt verwezenlijkt, kan met zekerheid van de eerste aflezing van de conusweerstand worden uitgegaan. Voor de verhouding $B_g : B_r$ verkrijgt men alsdan de waarden 0,96 en 1,08.

Uit de behandelde voorbeelden blijkt, dat men bij de aanwending van de methode, telkens de graad van verspanning en verdichting welke in de grond in de omgeving van de paalbasis bij het inheien en vervaardigen van de paal optreedt, met die welke bij het indrukken van de sondeerbuizen en het wegdrukken van de conus ontstaat, dient te vergelijken.

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

(2^e 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 lorsqu'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^{re} suite à la page 341 du fasc. 5/1971/72.

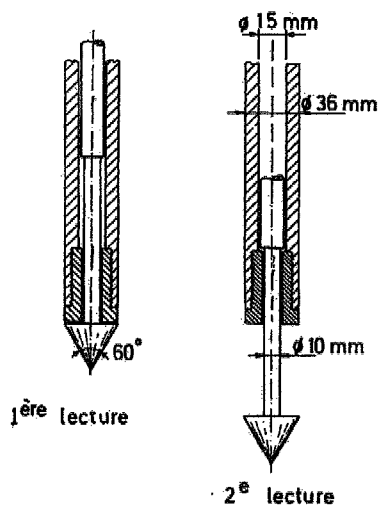


Fig. 39.

Dans la 2^e 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^e 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 Ω de la base.

A la 8^e 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^e lecture.

A la 9^e colonne est renseigné le n° de la figure de la présente contribution, où se trouvent les diagrammes $C_{r,d}$ et L de l'essai considéré.

A partir des valeurs $C_{r,d}$ 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^e colonne.

Les valeurs de d_g sont aussi dessinées sur les figures renseignées à la 9^e colonne.

Au niveau de la base des pieux on trouve les valeurs de d_g renseignées à la 11^e colonne.

La 12^e 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^e colonne renseigne les valeurs de capacités portantes limites totales T_r déduites des essais de chargement à partir de cette méthode.

La 14^e 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^e 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^e 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 Ω se trouve à la colonne 7, et celle de d_g à la colonne 11.

A la 17^e 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^e 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^e 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^e 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.

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	n°	diam. fût D _f (cm)	diam. base D (cm)	profondeur de la base H (m)	Section de la base Ω (cm ²)	Essai de pénétration			d _g (calculé avec D)
							n°	n° fig.	n° du tableau	
Courtrai	Vibro	1	40	47	8,48	1735	I (2 ^e lecture)	41	XX	54,7
Zwijndrecht	Franki	6	45	64	20,00	3247	VII (1 ^{re} lecture)	43	XXI	40,9
Zwijndrecht	Franki	70	60	80	21,34	5027	XXXIV (1 ^{re} lecture)	45	XXII	57,1
Anvers	Vibro	136	43	55,5	10,90	2507	XXX (2 ^e lecture)	47	XXIII	124,0
Anvers	Simpol	41	32	42	12,95	1385	CXXIX (2 ^e lecture)	49	XXIV	151,0
Anvers	Simpol	26	32	42	11,86	1385	LX + C799/A (2 ^e lecture)	51	XXV	110,8
Anvers	Simpol	249	42	50	10,40	1964	LXXXVI (1 ^{re} lecture)	53-a	XXVI-a	94,9
Anvers	Simpol	249	42	50	10,40	1964	LXXXVI (2 ^e lecture)	53-b	XXVI-b	83,4
Anvers	Simpol	125	42	50	10,80	1964	CIX (2 ^e lecture)	55	XXVII	87,5
Courtrai	Vibro	1	40	47	8,48	Section du fût	I (1 ^{re} lecture)	56	XX	57,7
Anvers	Vibro	136	43	55,5	10,90	1452	XXX (1 ^{re} lecture)	57	XXIII	142,2

12	13	14	15	16	17	18	19
Essai de chargement n° Fig	Force portante limite totale	Frottement latéral sur $\phi 3,6\text{cm}$	Frottement latéral du pieu	Capacité portante de rupture à la base	Capacité portante de rupture à la base	$\frac{B_g}{B_r}$	Nature du sol sous la base du pieu
	T_r (t)	L (kg)	F_r (t)	Calculée par la méthode P.G.	Déduite de l'essai de chargement		
				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	135,9	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

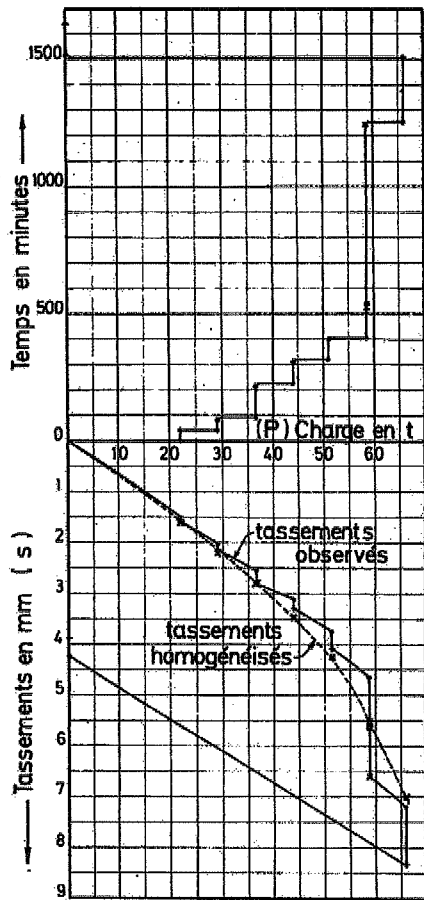


Fig. 40a.
 $\varnothing = 40/50$ cm.

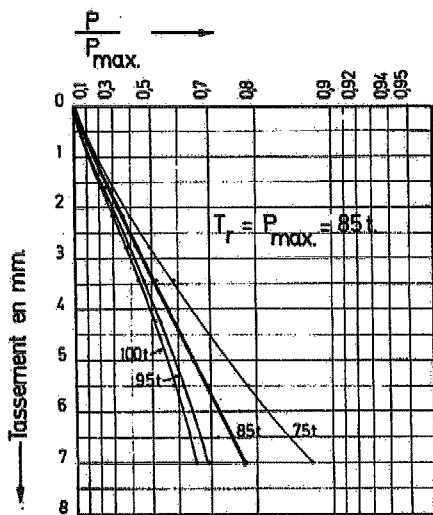


Fig. 40b.
 Courtrai : Pieu Vibro n° 1.

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^e lecture)

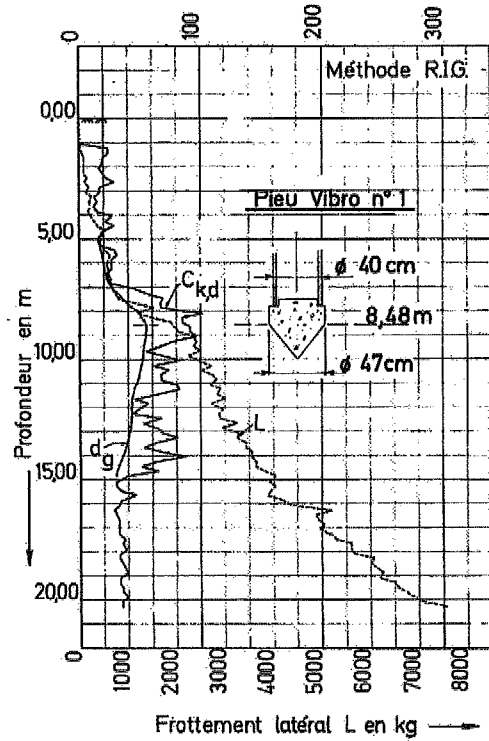
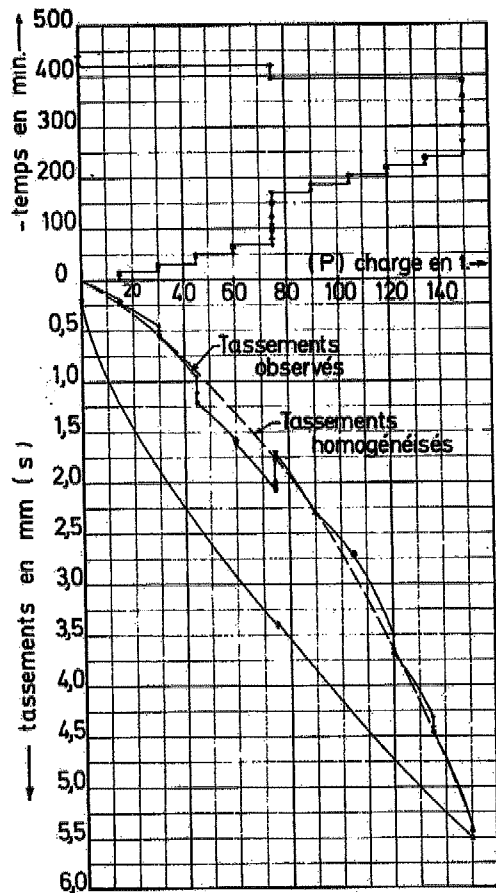
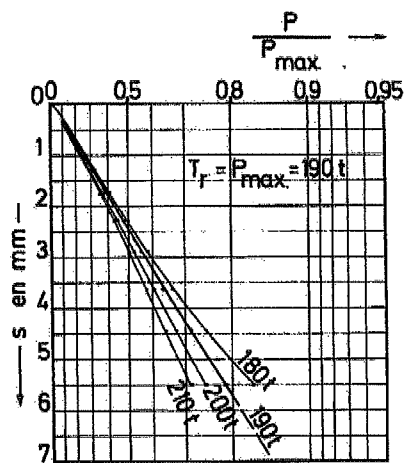


Fig. 41.



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 kg/cm^2

Résistance à la pointe C_{kd} en kg/cm^2

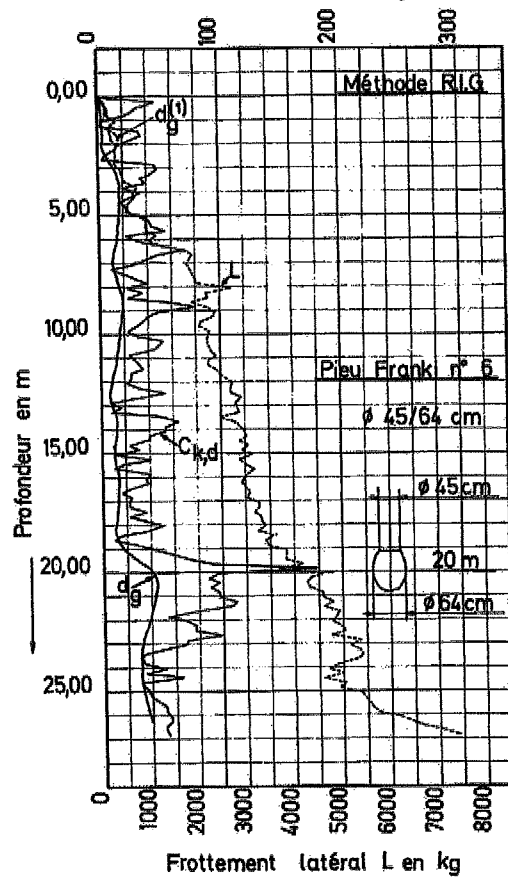
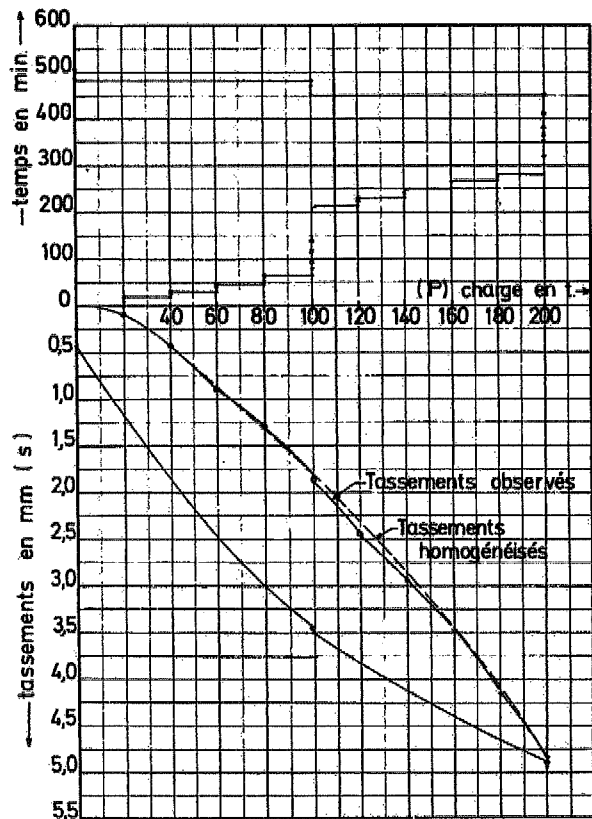
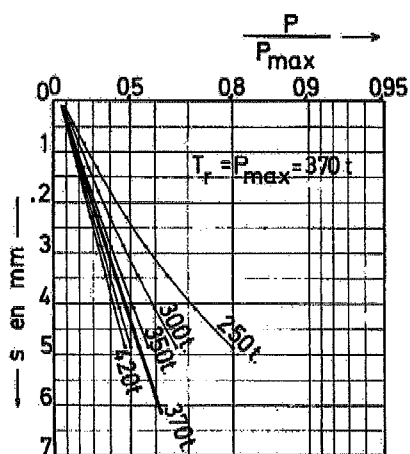


Fig. 43.



a)



b)

Fig. 44.

Zwijndrecht. Pieu Franki n° 70, Ø 60/80 cm.

ESSAI DE PENETRATION **XXIV** à ZWIJNDRECHT

Résistance à la base du pieu d_g en kg/cm^2

Résistance à la pointe C_{kd} en kg/cm^2 (2^e lecture)

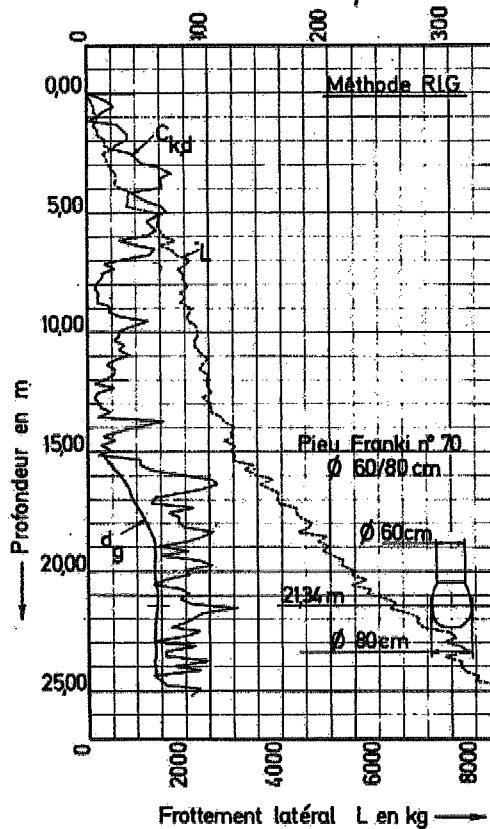
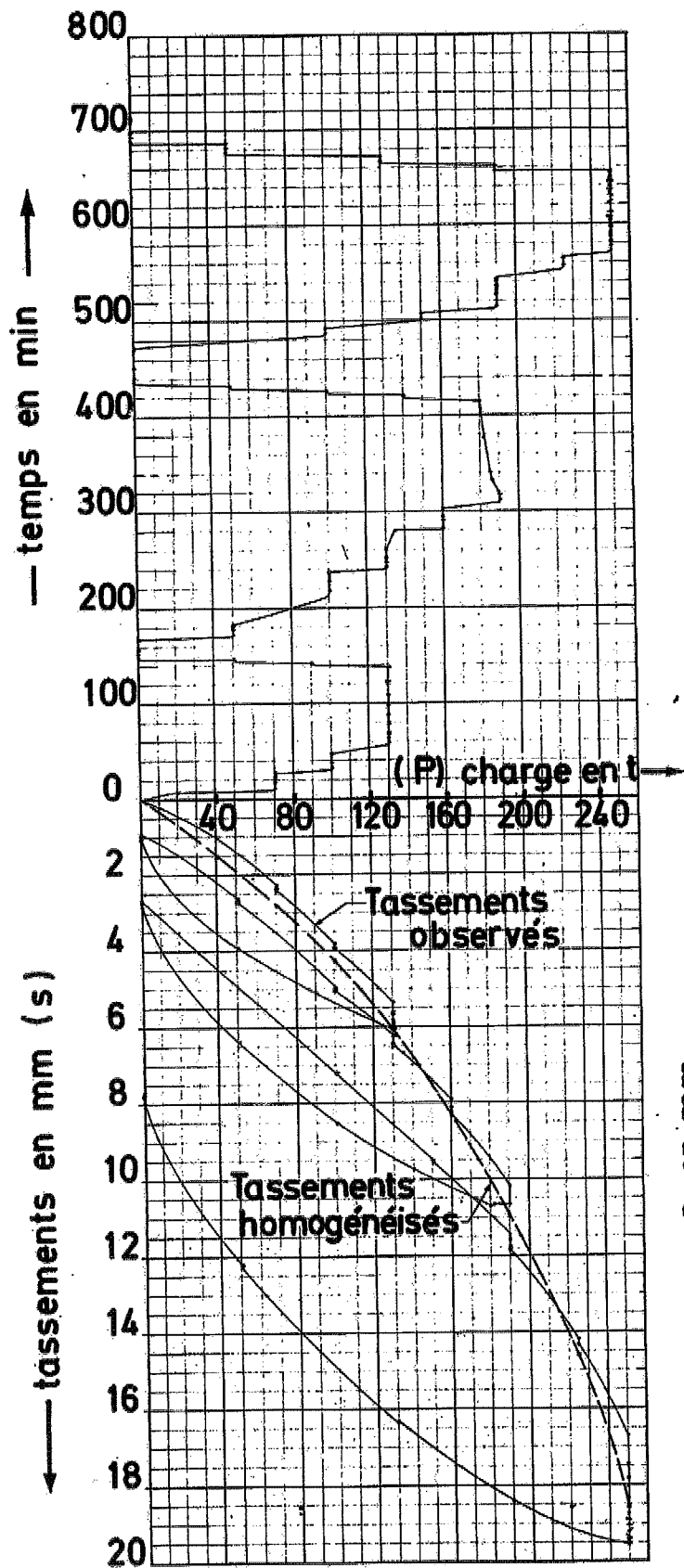


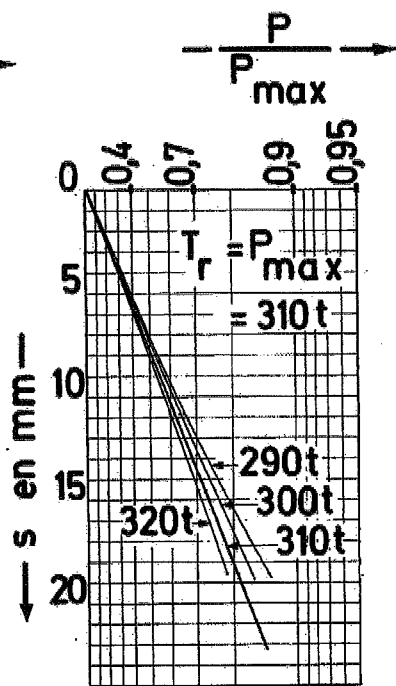
Fig. 45.



ANVERS

Pieu Vibro n° 136

∅ 43 / 56,5 cm



a)

b)

Fig. 46.

ESSAI DE PENETRATION XXX à ANVERS

Résistance à la base du pieu d_g en kg/cm^2

Résistance à la pointe C_{kd} en kg/cm^2 (2^e lecture) →

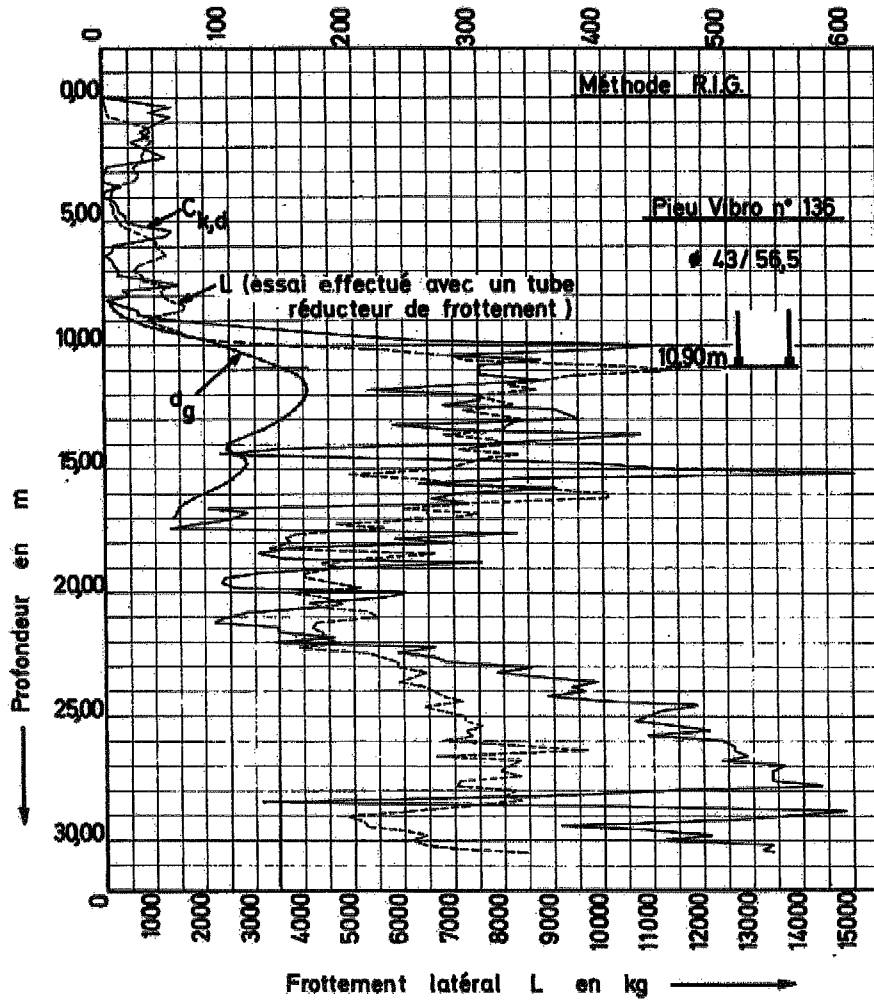
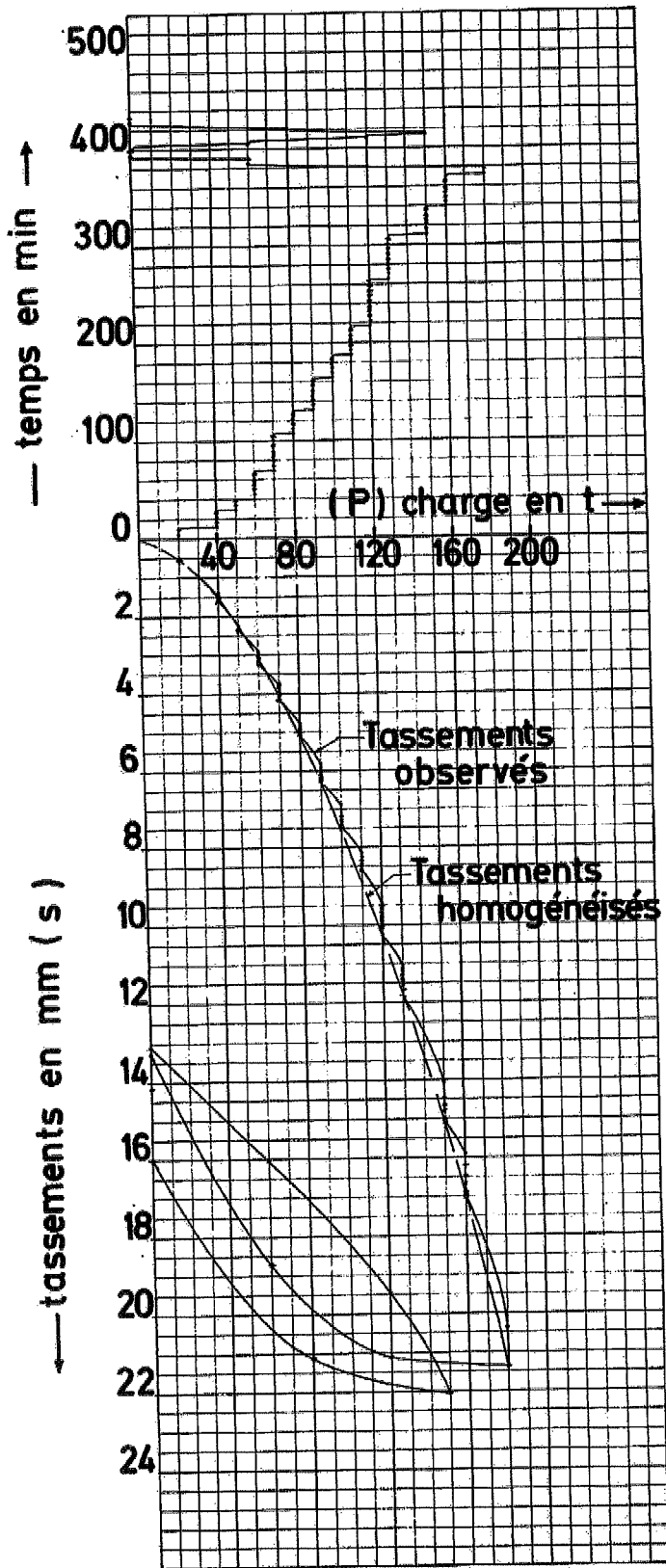
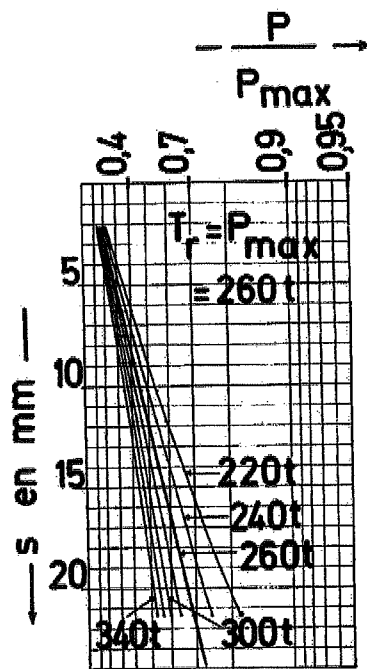


Fig. 47.



ANVERS
PIEU SIMPOL N°41
 ϕ 32/42 cm



a)

b)

Fig. 48.

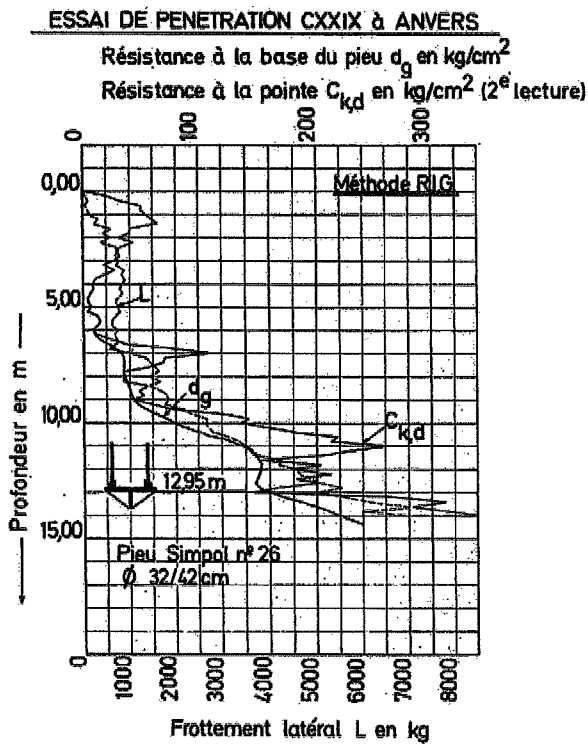


Fig. 49.

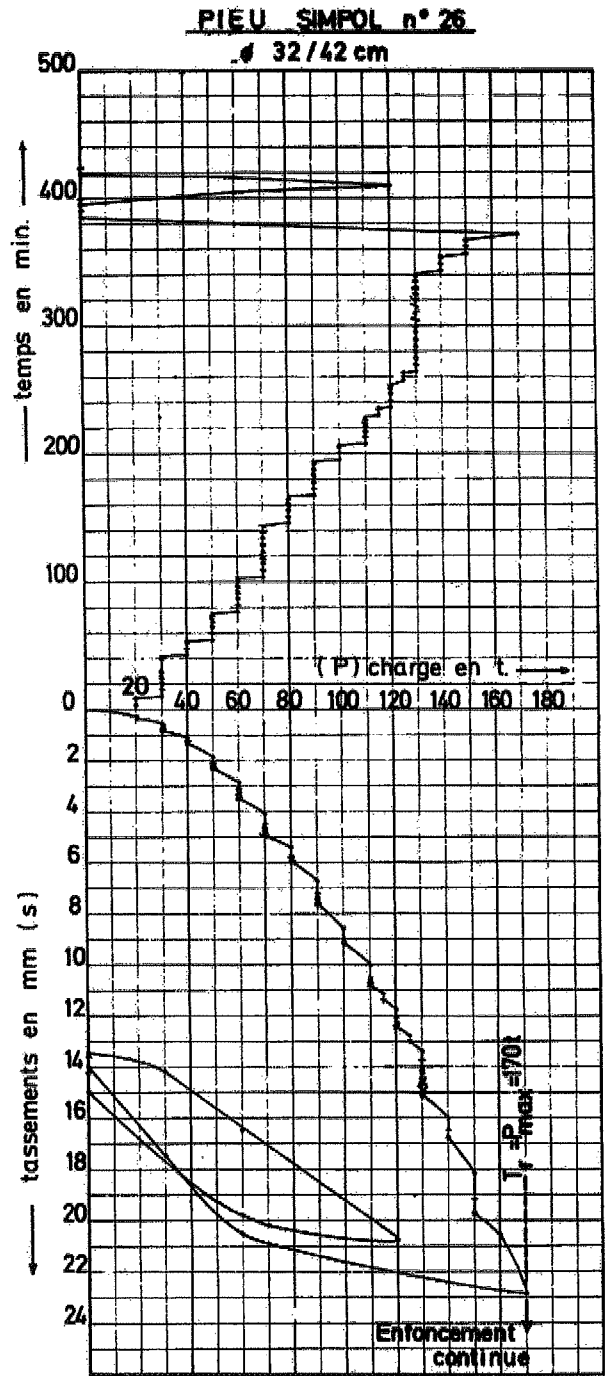


Fig. 50.

ESSAI DE PENETRATION COMBINE LX + C799/4

Résistance à la base du pieu d_g en kg/cm^2

Résistance à la pointe $C_{k,d}$ en kg/cm^2 (2^e lecture)

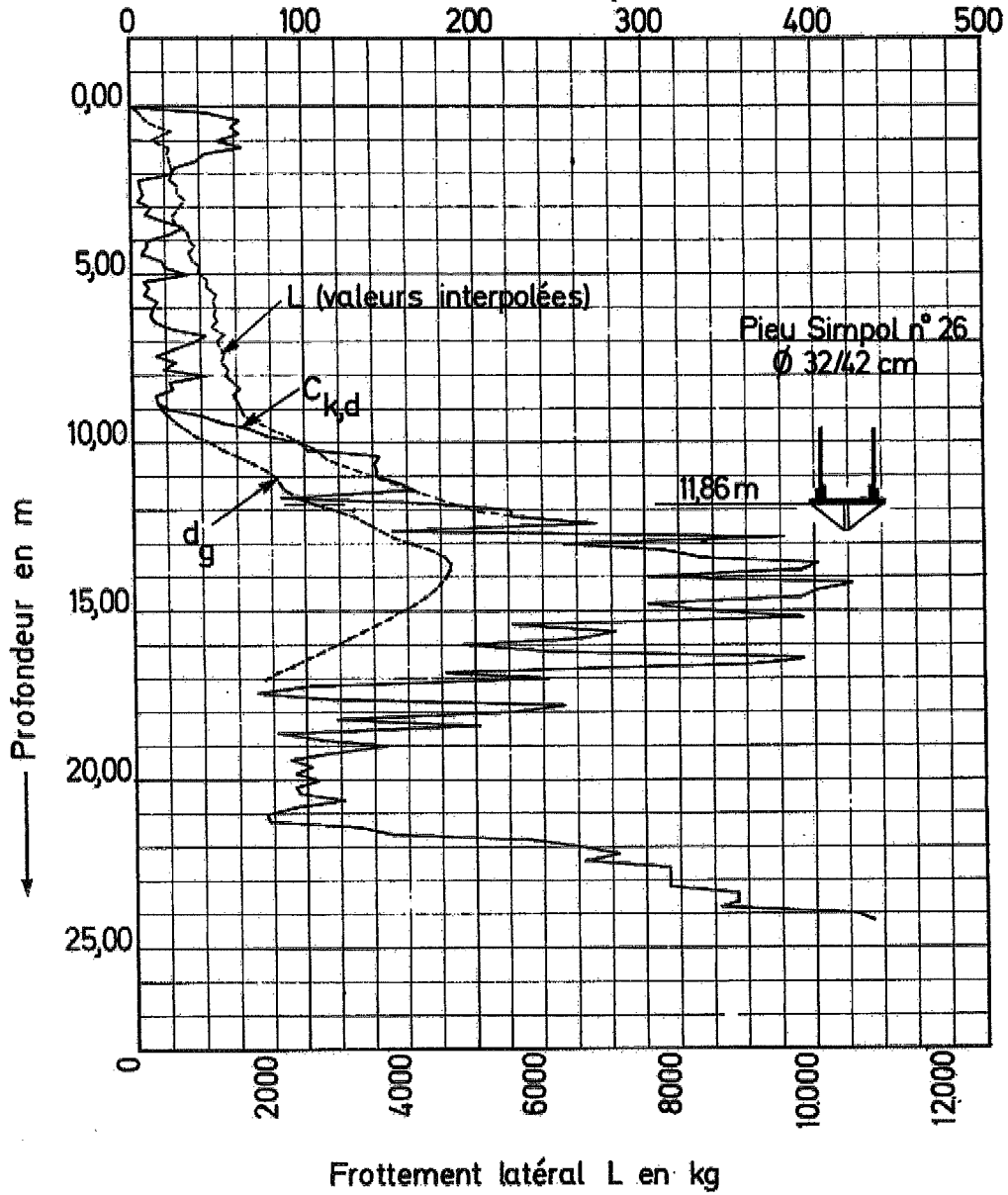
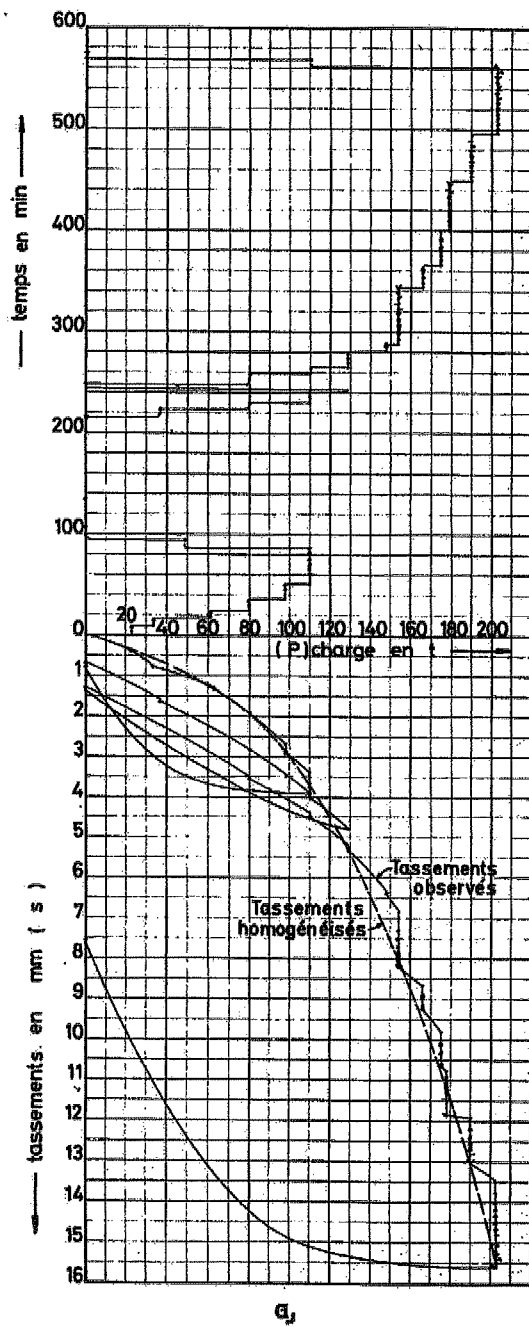


Fig. 51.



ANVERS
Pieu Simpol
ø 42 / 50 cm

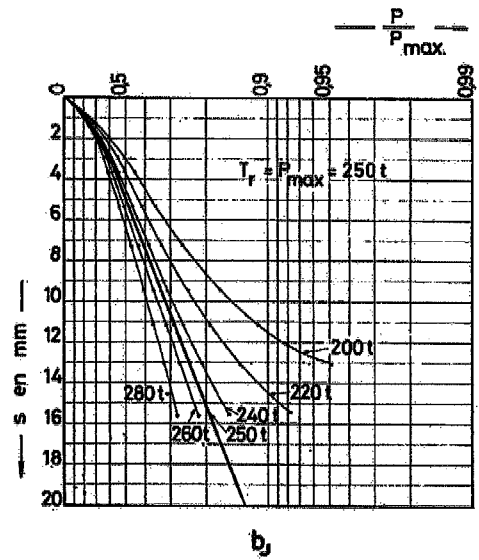


Fig. 52.

ESSAI DE PENETRATION LXXXVI à ANVERS

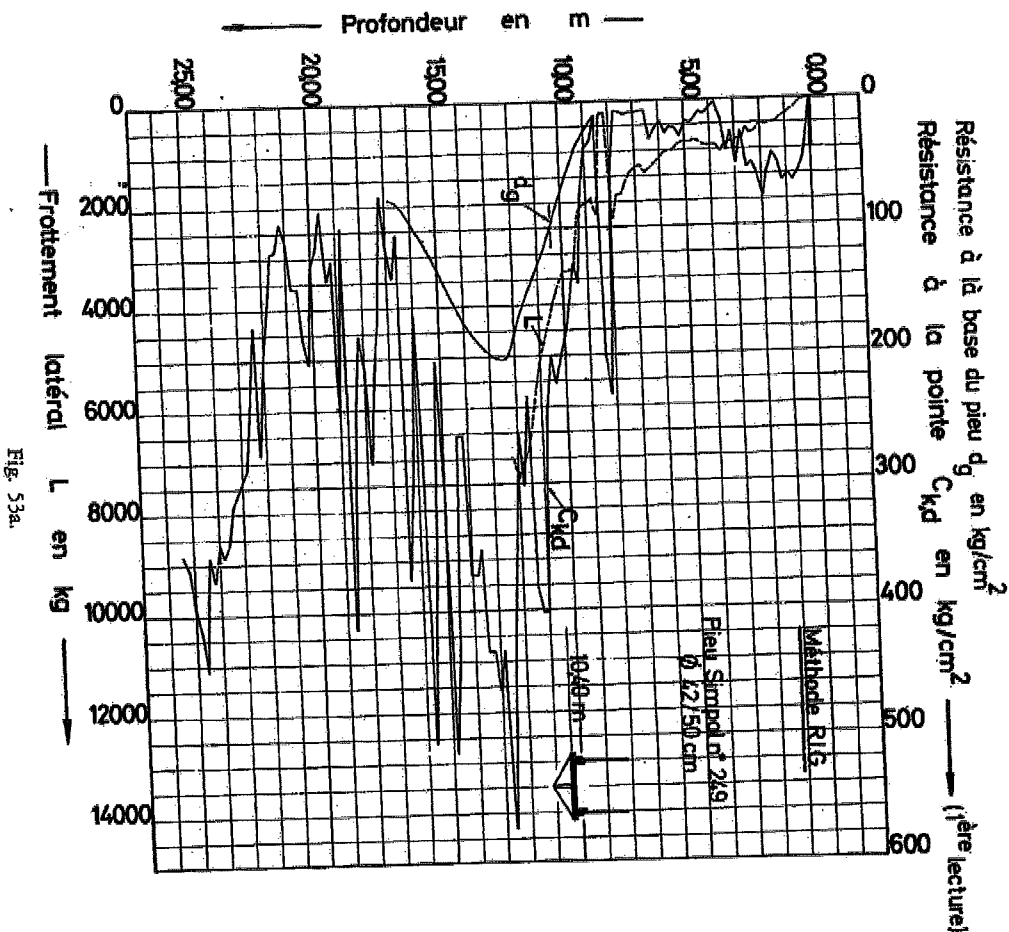


Fig. 53a.

ESSAI DE PENETRATION LXXXVI à ANVERS

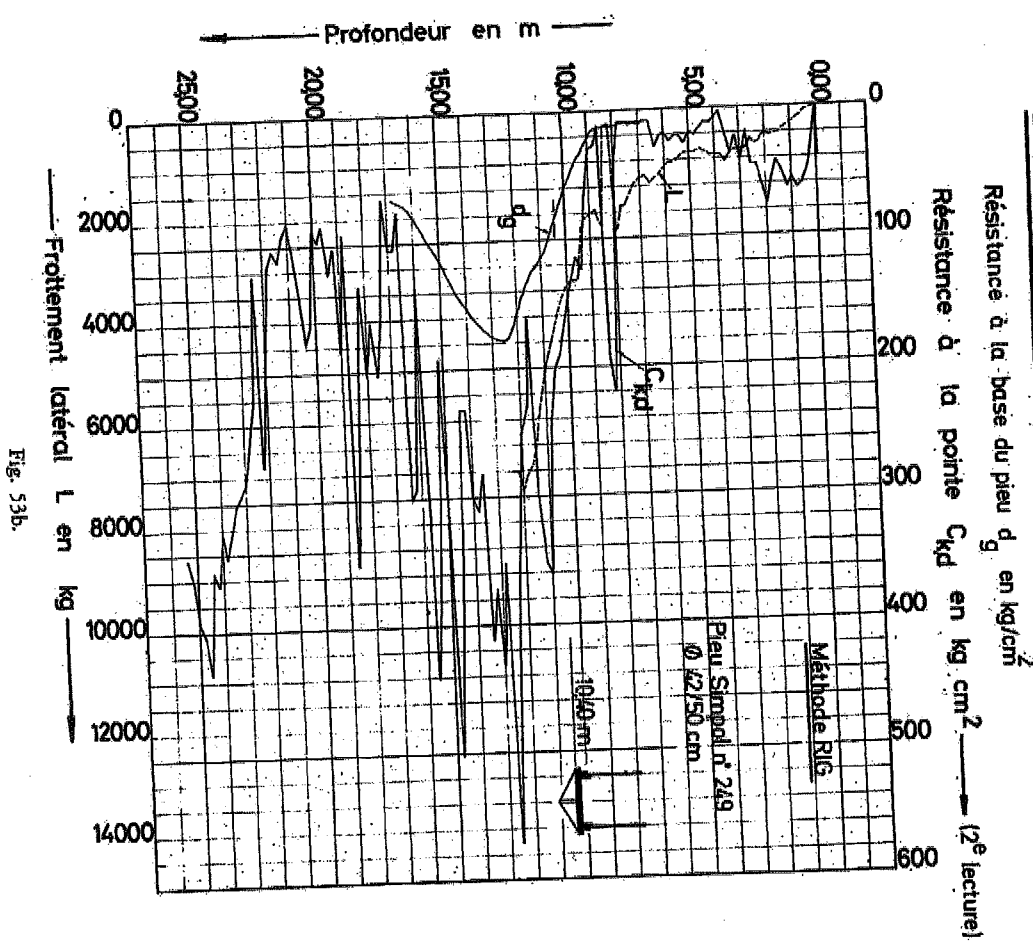


Fig. 53b.

ANVERS
 Pieu Simpol n° 125
 ø 42/50 cm

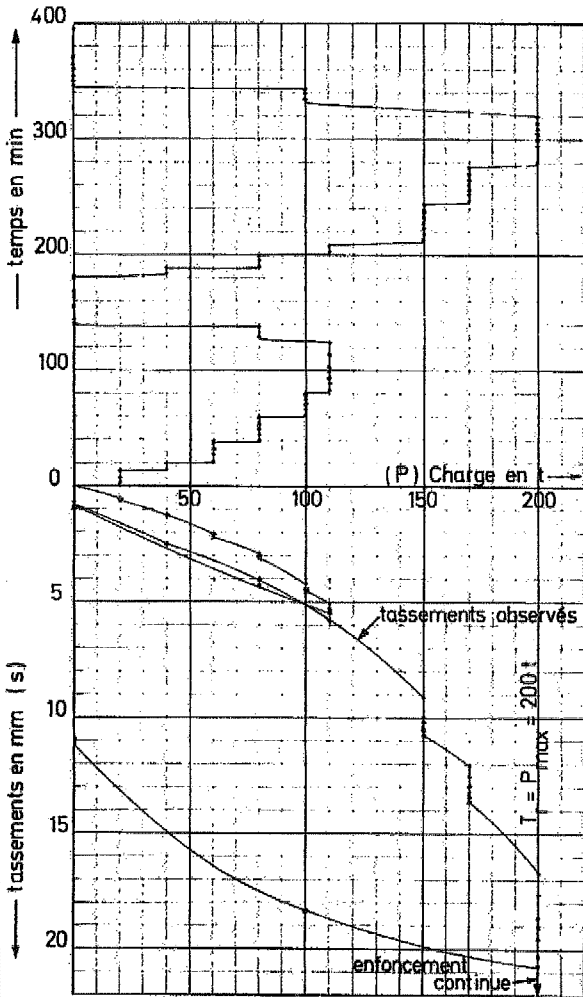


Fig. 54.

ESSAI DE PENETRATION CIX à ANVERS

Résistance à la base du pieu d_g en kg/cm^2

Résistance à la pointe $C_{k,d}$ en kg/cm^2 (2^e lecture)

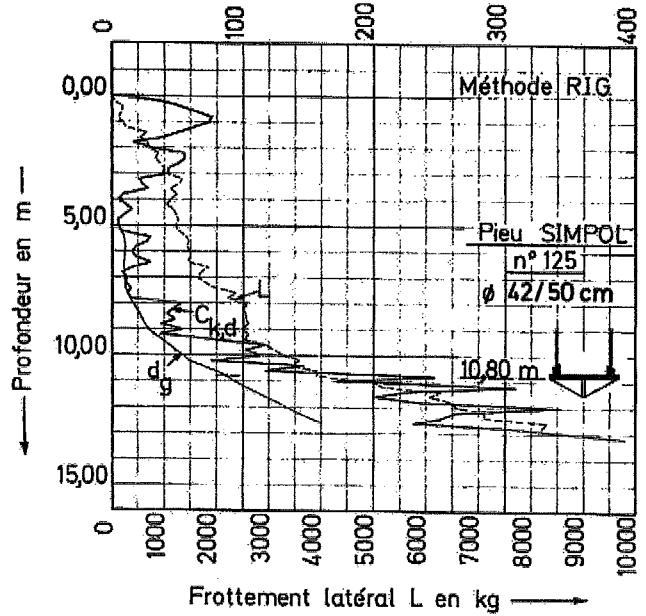


Fig. 55.

ESSAI DE PENETRATION I à COURTRAI

Résistance à la base du pieu d_g en kg/cm^2

Résistance à la pointe $C_{k,d}$ en kg/cm^2 (2^e lecture)

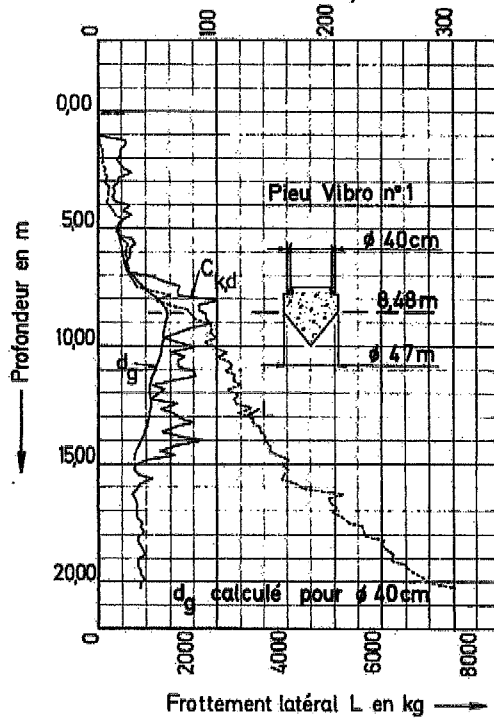


Fig. 56.

ESSAI DE PENETRATION XXX à ANVERS

Résistance à la base du pieu d_g en kg/cm^2 →

Résistance à la pointe C_{kd} en kg/cm^2 (2^e lecture) →

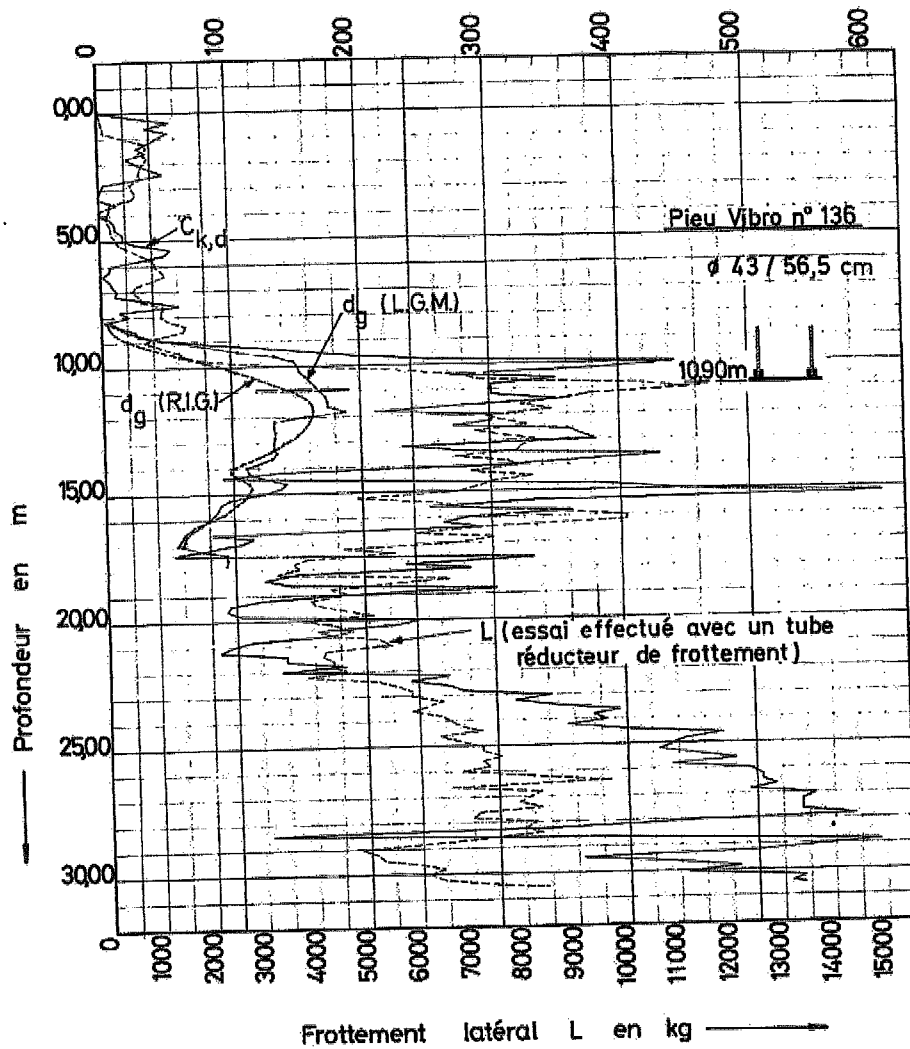


Fig. 57.

TABLEAU XX. — COURTRAI. — Essai de pénétration I.

1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11
Profondeur <i>h</i>	C_{hd} (e° lecture)	P_b ($\sigma_k = 16 t/m^2$ resp. $10 t/m^2$)	φ, φ'	calculés avec $D = 0,47 m$		$d_{g,j+1}$ form. (62)	$d_{g,j+1}$ form. (61)	d_g valeurs homogénéisées	calculés avec $D_f = 0,40 m$		d_g valeurs homogénéisées
				d_g form. (62)	$d_{g,j+1}$ form. (61)				$d_{g,j+1}$ form. (60)	$d_{g,j+1}$ form. (61)	
<i>m</i>	kg/cm^2	t/m^2	degré	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2
5,00	14,7	6,80	14°	14,7	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	15,10	16,53	15,13	15,13	16,73
5,40	28,5	7,20	20°	28,5	16,50	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	17,98	18,91	18,35	18,35	19,34
5,80	26,2	7,60	19° 30'	26,2	18,93	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	19,82	20,47	20,31	20,31	20,98
6,20	26,4	8,00	18°	26,4	20,63	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	20,97	21,53	21,46	21,46	22,02
6,60	24,1	8,40	17°	24,1	21,48	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	22,14	24,58	22,64	22,64	25,35
7,00	44,4	8,80	21°	44,4	24,32	24,32	24,32	27,59	25,06	25,06	28,72
7,20	55,4	9,00	24° 30'	55,4	27,27	27,27	27,27	31,01	28,36	28,36	32,52
7,40	63,2	9,20	25° 30'	63,2	31,18	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	34,58	38,63	36,46	36,46	40,89

7,80	66,9	9,60	27°	66,9	37,71	42,94	39,84	39,84	45,60
8,00	101,8	9,80	29°	101,8	49,59	47,40	46,37	49,37	50,45
8,20	84,5	10,00	28°	84,5	47,57	51,27	50,58	50,58	54,47
8,40	84,5	10,20	29°	84,5	51,11	54,02	54,39	54,39	57,70
8,60	91,4	10,40	27°	91,4	55,07	55,56	58,53	58,45	68,32
8,80	91,4	10,60	28°	91,4	58,60	55,67	62,28	58,44	57,92
9,00	96,7	10,80	28° 30'	96,7	55,72	55,71	66,14	58,06	57,18
9,20	77,6	11,00	27° 30'	77,6	55,77	54,39	67,82	57,26	56,20
9,40	67,2	11,20	25° 30'	67,2	54,43	53,79	67,20	56,22	55,47
9,60	55,7	11,40	23° 30'	55,7	53,56	53,37	55,70	55,13	54,98
9,80	77,6	11,60	24° 30'	77,6	59,38	52,92	58,29	55,07	54,65
10,00	82,3	11,80	25°	82,3	53,00	52,37	61,09	54,75	54,09
10,20	60,4	12,00	22°	60,4	52,38	51,66	61,49	54,12	53,31
10,40	73,1	12,20	24°	73,1	51,72	50,82	63,08	53,39	52,37
10,60	67,3	12,40	24°	67,3	59,87	49,89	62,96	52,43	51,23
10,80	67,3	12,60	23° 30'	67,3	49,88	48,66	64,75	51,29	49,88
11,00	80,3	12,80	24°	80,3	49,74	47,26	66,73	49,96	48,78
11,20	82,5	13,00	24° 30'	82,5	47,35	45,63	68,73	48,30	48,25
11,40	67,5	13,20	23° 30'	67,5	45,68	44,43	67,50	46,28	44,83
11,60	45,6	13,40	24°	45,6	43,87	43,69	45,60	44,18	43,99

11,80	560	13,60	20°	560	46,78	43,73	43,46	45,91	44,04	43,73
12,00	492	13,60	19°	492	47,30	43,48	43,76	43,76	43,76	43,95
12,20	434	14,00	20°	434	43,40	43,16	43,08	43,40	43,40	44,22
12,40	676	14,20	23°	676	45,70	43,74	42,90	45,91	44,70	44,54
12,60	517	14,40	21°	517	45,48	42,93	42,58	45,84	44,57	44,27
12,80	630	14,60	21°	630	48,15	42,64	42,77	48,15	44,34	43,83
13,00	678	14,80	21°	678	50,08	42,18	41,43	50,83	43,97	43,10
13,20	805	15,00	23°30'	805	53,97	41,52	40,52	53,99	43,23	42,09
13,40	632	15,20	21°	632	54,08	40,58	39,50	55,20	44,77	40,95
13,60	517	15,40	18°30'	517	51,70	38,46	38,98	51,70	40,88	39,77
13,80	678	15,60	22°30'	678	53,94	38,45	37,10	53,55	33,87	38,29
14,00	876	15,80	24°	876	56,48	37,22	35,55	57,12	38,45	36,57
14,20	633	16,00	20°	633	57,37	35,62	33,92	58,04	35,60	34,62
14,40	518	16,20	18°30'	518	57,80	33,82	32,25	57,08	34,48	32,66
14,60	656	16,40	21°30'	656	53,23	32,33	30,94	53,41	32,77	31,13
14,80	397	16,60	15°30'	397	39,70	30,60	30,13	39,70	30,73	30,18
15,00	299	16,80	13°30'	299	29,90	29,90		29,90	29,90	
15,20	299	17,00	12°	299	29,90	29,90		29,90	29,90	

TABLEAU XXI. — ZWIJNDRECHT. — Essai de pénétration VII —
Base du pieu $\varnothing = 0,64$ m.

1	2	3	4	5	6	7	8
Profondeur h	$C_{k,d}$ (1 ^{ère} lecture)	P_b ($\gamma_k = 1,6 \text{ t/m}^3$ resp. $1,0 \text{ t/m}^3$)	φ, φ'	$d_g^{(1)}$ form. (62)	$d_{g,j+1}$ form. (62)	$d_{g,q+1}$ form. (61)	d_g valeurs homogénéisées
m	kg/cm ²	t/m ²	degrés	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
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	59,99	41,95	40,85
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	16°	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	64,18	32,70	30,95
23,24	46	24,65	12°30'	46	46	31	30,37
23,44	32	24,85	8°	32	32	30,71	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	—

TABLEAU XXII. — ZWIJNDRECHT. — Essai de pénétration XXIV. — Base du pieu $\varnothing = 0,80$ m.

1	2	3	4	5	6	7	8
Profondeur <i>h</i>	$C_{k,d}$ (<i>à lire</i>)	P_b ($\delta_k = 1,5 \text{ t/m}^3$ resp. 10 t/m^3)	φ, φ'	$d_g^{(1)}$ form. (62)	$d_{g,j+1}$ form. (62)	$d_{g,q+1}$ form. (61)	d_g valeurs homogéné- isées
m	kg/cm ²	t/m ²	degrés	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
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	31,67
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	55,12
20,30	64	20,50	17°30'	64	63,38	54,42	55,68
20,50	54	20,70	18°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	57,14
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	55,97	54,83
22,70	80	22,90	18°30'	80	69,39	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	55,77	
24,90	92	25,10	19°	92	57,18	57,18	
25,10	84	25,30	18°	84	58,71	58,71	

TABLEAU XXIII. — ANVERS. — Essai de pénétration XXX.

1	2	3	4	5			6			8	9	10		12
				$d_g^{(1)}$	$d_{g,i+1}$	$d_{g,i+1}$	$d_{g,i+1}$	d_g	$d_{g,i+1}$			$d_{g,i+1}$		
Profondeur h	C_{hd} (25 lectures)	P_b ($Q_k = 15 \text{ t/m}^2$ resp. ϕ/ϕ_1)	ϕ, ϕ'	form. (6c)	form. (4c)	form. (8c)	valeurs ho- mogenisées	L. G. M.	form. (8c)	form. (8c)	avec $D_f = 0,43 \text{ m}$	d_g valeurs homogenisées		
m	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	kg/cm ²	kg/cm ²		
8,20	254	8,56	0	254	2,54	2,54	3,93	7,90	2,54	2,54	2,54	3,93		
8,40	1254	8,76	9° 30'	1254	3,31	3,31	6,42	13,08	3,51	3,51	3,51	5,73		
8,60	2668	8,96	18°	2668	5,08	5,08	9,96	18,88	5,73	5,73	5,73	8,15		
8,80	2968	9,16	19°	2968	6,88	6,88	15,52	32,32	7,94	7,94	7,94	13,76		
9,00	5368	9,36	23°	5368	10,41	10,41	23,01	54,66	12,30	12,30	12,30	22,20		
9,20	10468	9,56	29° 30'	10468	11,45	11,45	33,83	79,23	21,05	21,05	21,05	32,00		
9,40	14968	9,76	30° 30'	14968	23,33	23,33	48,08	105,61	33,24	33,24	33,24	44,43		
9,60	18182	9,96	32°	18182	35,85	35,85	58,29	133,96	44,71	44,71	44,71	63,53		
9,80	25182	10,16	32° 30'	25182	52,30	52,30	71,08	147,96	64,35	64,35	64,35	79,25		
10,00	44182	10,36	35° 30'	44182	67,24	67,24	82,21	157,50	81,53	81,53	81,53	93,05		
10,20	38182	10,56	35° 30'	38182	89,82	89,82	92,02	153,12	91,85	91,85	91,85	104,30		
10,40	27182	10,76	34°	27182	88,02	88,02	101,78	156,93	105,75	105,75	105,75	116,32		
10,60	35196	10,96	34°	35196	97,42	97,42	111,77	161,43	116,49	116,49	116,49	128,58		
10,80	30196	11,16	34°	30196	106,47	106,47	120,12	164,72	124,74	124,74	124,74	137,19		
11,00	30196	11,36	34°	30196	115,19	115,19	128,83	168,87	136,51	136,51	136,51	147,15		
11,20	30196	11,56	33° 30'	30196	125,53	125,53	134,12	172,81	148,32	148,32	148,32	157,77		
11,40	35196	11,76	34°	35196	133,22	133,22	137,74	174,16	156,62	156,62	156,62	168,28		
11,60	29210	11,96	34°	29210	133,39	133,39	139,86	174,32	160,57	160,57	160,57	168,53		
11,80	21210	12,16	32° 30'	21210	143,20	143,20	139,43	187,76	165,50	165,50	165,50	163,13		
12,00	30210	12,36	33° 30'	30210	153,33	153,33	137,47	156,20	174,42	174,42	174,42	162,15		
12,20	30210	12,56	33° 30'	30210	157,01	157,01	135,77	132,60	180,50	180,50	180,50	162,37		

1240	27240	1276	32°	27940	166,21	138,09	134,45	143,32	199,14	119,71	157,53
1260	36224	1296	34°	36224	175,47	145,18	133,45	123,67	200,40	135,02	153,32
1280	37224	1316	34°	37224	184,78	153,51	127,80	109,80	219,68	124,45	149,75
1300	38224	1336	35°	38224	183,92	160,02	123,48	122,23	243,18	148,98	142,83
1320	23224	1356	32° 30'	33224	192,36	128,08	118,47	132,29	218,36	143,11	135,98
1340	28224	1376	32° 30'	28224	200,02	121,57	112,69	144,39	223,44	135,41	127,92
1360	43238	1396	34° 30'	43238	208,01	116,23	106,19	130,96	222,44	128,43	118,48
1380	37238	1416	34°	37238	213,02	108,98	109,23	124,76	237,33	118,92	107,86
1400	30238	1436	33°	30238	211,70	102,97	97,78	144,44	234,26	102,10	99,02
1420	14238	1456	28°	14238	142,38	95,57	93,04	143,03	142,38	95,57	98,17
1440	5238	1476	25°	9238	92,38	92,38	93,87	124,47	52,38	42,38	104,55
1460	25252	1496	30°	23252	102,71	106,18	98,88	144,48	185,55	185,55	112,14
1480	39252	1516	33° 30'	39252	116,34	109,07	93,73	136,86	122,34	115,73	114,39
1500	94252	1536	34°	44252	135,51	98,90	94,47	123,99	142,04	115,13	111,92
1520	60252	1556	35°	60252	143,79	95,41	90,95	96,16	155,81	112,31	102,04
1540	33252	1576	33° 30'	33252	148,76	92,18	86,73	89,92	167,33	102,33	103,06
1560	25266	1596	30° 30'	25266	156,87	84,40	81,83	87,62	170,44	103,49	95,99
1580	36266	1616	32° 30'	36266	162,52	84,81	76,17	84,00	178,74	97,37	89,74
1600	28266	1636	32°	28266	167,21	74,52	69,90	78,82	147,87	90,11	81,23
1620	26266	1656	32° 30'	26266	172,86	73,55	64,56	74,00	122,07	83,73	71,83
1640	22266	1676	31° 30'	22266	170,45	68,79	60,25	67,00	124,71	72,01	64,54
1660	8280	1696	29° 30'	8280	82,80	59,73	57,10	62,41	82,80	67,36	59,88
1680	11480	1716	23° 30'	11480	85,47	56,16	55,37	61,38	85,70	58,34	57,37
1700	10280	1736	24°	10280	87,13	54,38		58,68	88,04	59,44	54,96
1720	7480	1756	22°	7480	74,80	54,20		74,33	74,80	54,54	
1740	5280	1776	17°	5280	52,80	52,80		53,80	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 <i>h</i>	$C_{k,d}$ (2 ^e lecture)	P_b $\rho_k = 155/m^3$ resp. $4p/m^2$	φ, φ'	$d_g^{(1)}$ form. (62)	$d_{g,j+1}$ form. (62)	$d_{g,q+1}$ form. (84)	d_g valeurs ho- mogénéisées
<i>m</i>	kg/cm^2	t/m^2	degrés	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2
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	12,95	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	54,76
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	90,48
10,40	184,76	11,48	30° 30'	184,76	89,66	89,66	104,80
10,60	217,78	11,68	31°	217,78	102,36	102,36	114,49
10,80	241,81	11,88	31°	241,81	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	152,95	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	154,06	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	174,83
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	187,51	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 ^e lecture)	P_b ($k = 10^4 \text{ t/m}^2$ resp. 10^7 t/m^2)	φ, φ'	$d_g^{(1)}$ Form (62)	$d_{g,j+1}$ Form (100)	$d_{g,q+1}$ Form (81)	d_g valeurs homogénéisées
m	kg/cm ²	t/m ²	degrés	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
860	14	9,56	14° 30'	14	14	14	14,44
880	15	9,76	13° 30'	15	14,23	14,23	15,71
900	22	9,96	15° 30'	22	15,40	15,40	18,06
920	11	10,16	22°	11	17,79	17,79	21,68
940	53	10,36	22° 30'	53	21,28	21,28	26,15
960	69	10,56	24° 30'	69	25,97	25,97	31,63
980	79	10,76	25°	79	31,19	31,19	37,67
1000	98	10,96	27°	98	37,74	37,74	46,22
1020	102	11,16	28°	102	44,09	44,09	53,44
1040	144	11,36	29° 30'	144	53,82	53,82	62,23
1060	141	11,56	29° 30'	141	62,42	62,42	70,21
1080	143	11,76	29°	143	70,45	70,45	77,99
1100	143	11,96	29° 30'	143	77,77	77,77	83,40
1120	157	12,16	29° 30'	157	85,75	85,75	86,14
1140	165	12,36	30°	165	93,77	93,77	89,16
1160	86	12,56	28° 30'	86	86,00	86,00	96,03
1180	174	12,76	30°	174	94,80	94,80	106,92
1200	222,10	12,96	31° 30'	222,10	107,29	107,29	119,89
1220	222,10	13,16	31°	222,10	118,68	118,68	129,88
1240	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	443,25	443,25	152,30
13,00	252,24	13,96	34° 30'	252,24	453,41	453,41	162,93
13,20	342,20	14,16	33°	342,20	462,93	462,93	175,04
13,40	332,20	14,36	33°	332,20	475,75	475,75	182,84
13,60	402,38	14,56	34°	402,38	487,50	486,43	186,44
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	225,48	180,67	176,42
14,60	392,52	15,56	33°	392,52	234,23	176,44	172,84
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	157,49
15,20	392,52	16,16	32° 30'	392,52	246,63	167,44	149,57
15,40	222,52	16,36	30° 30'	222,52	222,52	149,98	144,77
15,60	282,66	16,56	34°	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	382,66	17,36	32° 30'	382,66	207,49	110,86	104,56
16,60	362,80	17,56	33°	362,80	207,10	104,83	92,41
16,80	182,80	17,76	30° 30'	182,80	182,80	94,96	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>(9^{ème} lecture)</i>	P_b <i>($h = 10 \frac{kg}{m^2}$, $10 \frac{kg}{m^2}$)</i>	φ, φ'	$d_g^{(1)}$ <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>
<i>m</i>	kg/cm^2	t/m^2	degrés	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2
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	30,76
9,40	141,72	11,08	29°30'	141,72	30,78	30,78	39,42
9,60	127,74	11,28	28°	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	181,80	11,68	30°30'	181,80	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	201,89	12,28	30°30'	201,89	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	183,80
12,20	352,11	13,88	33°	352,11	182,26	182,26	185,09
12,40	472,14	14,08	34°	472,14	200,07	200,07	201,77

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	173,57
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	116,52
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	

TABEAU 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 ^e lecture)	P_b ($\rho_k = 1,5 t/m^3$ resp. $10 t/m^2$)	φ, φ'	$d_g^{(1)}$ 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	11,41	11,41	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	11,45
8,00	53,42	10,04	22°	53,42	14,70	14,70	17,31
8,20	77,45	10,24	21°	77,45	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	99,33	99,33	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^e 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^e 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 $4,5$ t/m², et dans le sable de forte compacité trouvé à partir de 24,20 m de profondeur de l'ordre de 9 t/m².

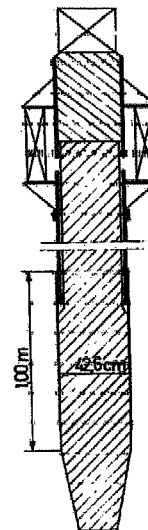


Fig. 58.
ROTTERDAM.

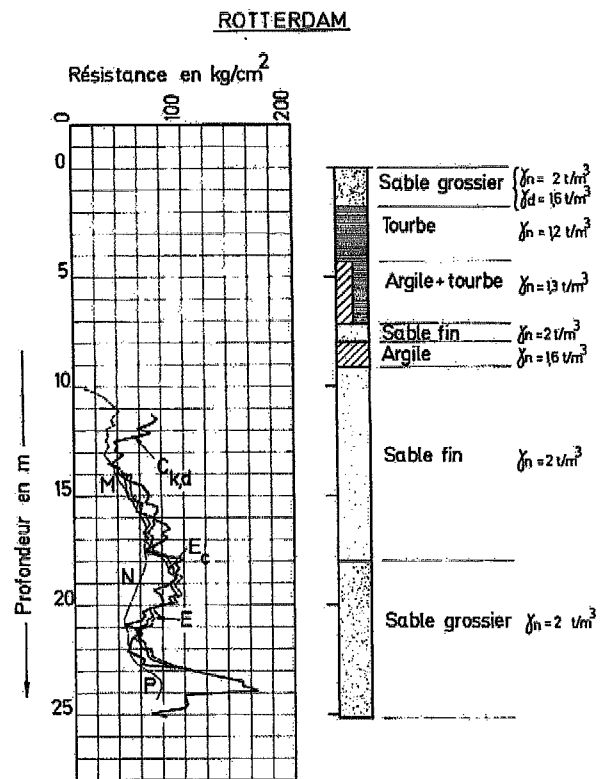


Fig. 59.

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:

$$F = 1,34 \times 4,5 = 6,03 \text{ t},$$

dans le sable compact:

$$F = 1,34 \times 9 = 12,06 \text{ t.}$$

La section de l'élément terminal vaut:

$$\Omega = \frac{\pi \times 0,426^2}{4} = 0,143 \text{ m}^2.$$

La résistance de frottement latéral sur l'élément terminal, correspond à une charge unitaire sur la base de:

$$\Delta d_g = \frac{6,03}{0,143} = 42,2 \text{ t/m}^2 = 4 \text{ kg/cm}^2,$$

dans le sable de compacité médiocre, et de:

$$\Delta d_g = 8 \text{ kg/cm}^2,$$

dans le sable compact.

Nous estimons devoir retrancher ces valeurs Δd_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 pour le calcul de p_b .

On a admis que la nappe phréatique se trouve à 1 m sous la surface du sol, et que l'on a les poids volumiques 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 niveaux moins résistants sous-jacents, que la différence entre les valeurs calculées et expérimentales est assez considérable. A la figure 60 nous avons dessiné les valeurs $d_{g,j+1}$ (colonne 6 du tableau XXVIII). On constate que ces valeurs correspondent très bien avec les valeurs expérimentales de la courbe E_c . C'est l'introduction des valeurs montantes $d_{g,q+1}$ qui introduit la différence entre le calcul et l'observation. Nous estimons toutefois que si on veut garder une méthode applicable avec sécurité en tous terrains, la prudence exige de maintenir l'estimation de l'influence des inclusions moins résistantes sur des pieux arrêtés au-dessus de ces inclusions.

A 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 environ les mêmes que celles obtenues avec la méthode R.I.G.

ROTTERDAM.

Résistance en kg/cm^2

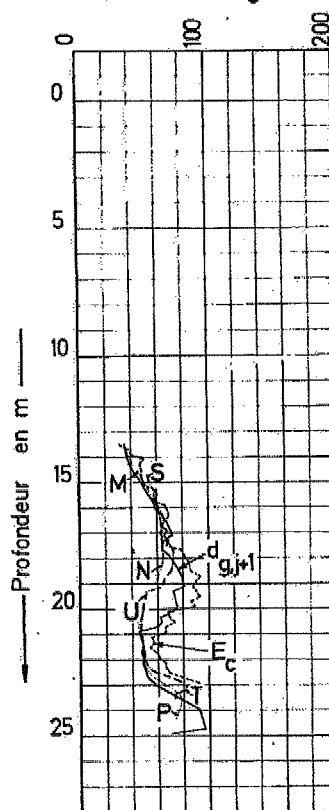


Fig. 60.

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 $d_g > 100 \text{ kg/cm}^2$.

TABLEAU XXVIII. — ROTTERDAM.

1	2	3	4	R.I.G.					L.G.M	
				5	6	7	8	9	10	11
Profondeur <i>h</i>	C_{kd}	P_b	φ, φ'	$d_g^{(1)}$ form. (82)	$d_{g,j+1}$ form. (82)	$d_{g,j+1}$ form. (81)	d_g valeurs homogéné- isées courbe NND	d_g (courbe E)	d_g corrigé (courbe E_c)	d_g
<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	10,73	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	63,7	67	63	62,98
16,90	85	13,13	24°	85	70,7	65,2	64,5	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	63,0	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	56,7	94	90	51,01
19,50	77	15,73	21°30'	77	72,9	56,7	54,5	97	93	50,27
19,70	80	15,93	22°	80	73,9	54,6	52,7	90	66	49,60
19,90	80	16,13	22°	80	74,9	52,8	50,8	93	69	48,83
20,10	71	16,33	20°30'	71	77	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	68	46,81

20,90	45	17,73	18°30'	45	45	46,2	70	66	47,37
21,10	56	17,33	15°30'	56	46,2	47,3	59	65	47,67
21,30	58	17,53	16°	58	47,5	48	67	57	47,51
21,50	53	17,73	18°	53	48,3	48,2	58	54	47,26
21,70	50	17,93	17°	50	48,7	48,1	63	59	47,19
21,90	50	18,13	16°30'	50	49	48,4	65	67	48,02
22,10	48	18,33	16°30'	48	48	49,2	70	66	50,74
22,30	56	18,53	15°30'	56	49	50,4	70	66	53,32
22,50	63	18,73	17°	63	50,5	52,8	77	69	59,09
22,70	67	18,93	18°30'	67	51,6	55,6	88	80	70,25
22,90	100	19,13	18°	100	56,2	62,3	100	92	79,42
23,10	117	19,33	22°	117	61,9	69			83,52
23,30	135	19,53	23°30'	135	68,7	74,7			74,15
23,50	152	19,73	24°30'	152	76,5	77,9			72,78
23,70	153	19,93	25°	153	83,7	78,7			
23,90	166	20,13	25°	166	91,4	77			
24,10	100	20,33	26°	100	92,4	73,6			
24,30	101	20,53	21°30'	101	93,5	74,0			
24,50	103	20,73	21°30'	103	94,8	72,10			
24,70	100	20,93	22°	100	95,7				
24,90	70	21,13	18°	70	70				
25,10	80	21,33	19°30'	80	80				

ESSAI DE PENETRATION II à OUD-TURNHOUT

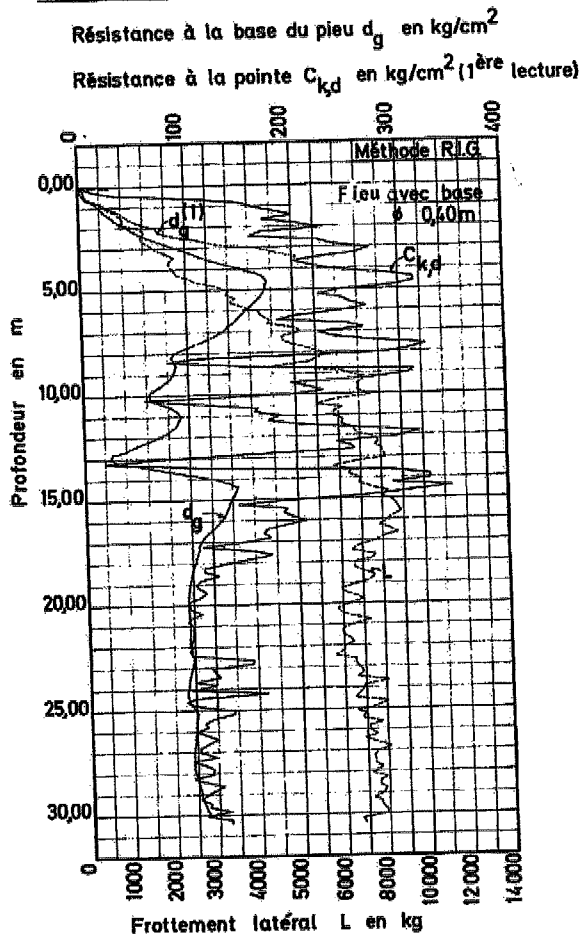


Fig. 61.

b. **Sable de compacité moyenne reposant sur une couche d'argile consistante**
 essai de pénétration I à Malines.

A la figure 62 sont dessinés les diagrammes $C_{k,d}$ et L de l'essai de pénétration I effectués à Malines.

On a calculé les valeurs de d_g pour des pieux battus ayant respectivement \varnothing 0,506 m et \varnothing 0,620 m à la base. Les détails des calculs sont donnés au tableau XXX et les courbes d_g sont dessinées à la figure 62. L'allure des courbes permet de se rendre compte de l'influence du diamètre sur d_g .

La valeur maximum de d_g est de 55,75 kg/cm^2 pour la base \varnothing 0,506 m et se réduit à 50,86 kg/cm^2 pour la base \varnothing 0,620 m.

c. **Argile tertiaire consistante**
 essai de pénétration I à Sint Jan près de Ypres.

A la figure 63 sont dessinés les diagrammes $C_{k,d}$ et L de l'essai de pénétration I effectué à Sint Jan

ESSAI DE PENETRATION I à MALINES

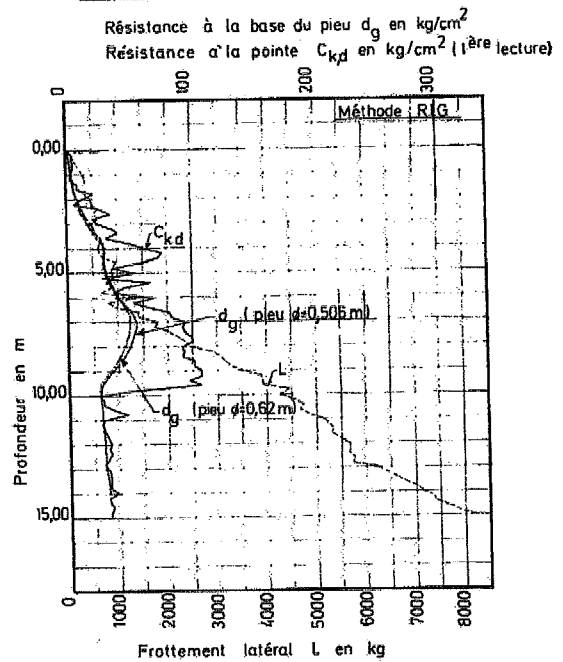


Fig. 62.

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^{ère} lecture)

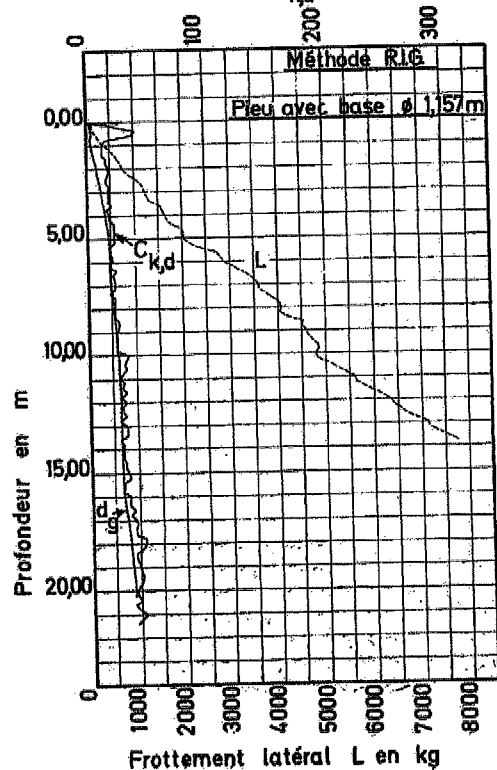


Fig. 63.

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	$C_{k,d}$ (généralité)	P_b ($k = 35 t/m^2$ resp. $10 t/m^2$)	φ, φ'	$d_g^{(H)}$ Form (62)	$d_{g,j+1}$ Form (122)	$d_{g,q+1}$ Form (81)	d_g valeurs homogénéisées
m	kg/cm ²	t/m ²	dégréés	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
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	106,42	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°	44,99	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'	123,03	63,94	63,94	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	152,26	152,26	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	165,68
5,80	269,12	8,80	33°30'	269,12	210,26	166,73	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	139,55	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	303,40	10,80	33°30'	303,40	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	143,68	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	53,85	53,85	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
14,20	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	159,85	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	109,86
17,20	110,66	20,20	22°30'	110,66	110,66	108,29	107,80
17,40	154,66	20,40	25°	154,66	145,31	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	96,94	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	96,62	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	99,32	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	18°	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	103,88	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	93,40	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	97,56
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	97,43	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	107,98	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	

TABLEAU XXX. — MALINES. — Essai de pénétration I.

Profondeur h m	C _{hd} (20°C) $\frac{kg}{cm^2}$	P _b t/m ²	$\varphi - \varphi'$ degrés	Base du pieu $\phi = 0,506$ m				Base du pieu $\phi = 0,620$ m					
				d _g Subm ⁽¹⁾ kg/cm ²	d _g i+1 Form (100) kg/cm ²	d _g q+1 Form (50) kg/cm ²	d _g voileur homogénéité kg/cm ²	d _g Subm ⁽¹⁾ kg/cm ²	d _g i+1 Form (100) kg/cm ²	d _g q+1 Form (50) kg/cm ²	d _g voileur homogénéité kg/cm ²		
0	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	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
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	1,36
0,60	5	0,96	22°	1,91	1,91	1,91	2,28	2,11	1,80	1,80	2,11	2,11	2,11
0,80	5	1,28	20°	3,05	2,40	2,40	2,87	2,70	2,22	2,22	2,42	2,42	2,42
1,00	3	1,48	13°	3	2,64	2,64	3,38	2,62	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42
1,20	3	1,68	12°	3	2,64	2,64	4,19	3	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63
1,40	9	1,88	21° 30'	7,87	3,61	3,61	4,99	6,31	3,18	3,18	3,18	4,38	4,38
1,60	9	2,08	20° 30'	9	4,42	4,42	5,59	7,81	3,82	3,82	3,82	3,82	5,06
1,80	21	2,28	26° 30'	15,73	5,89	5,89	6,99	12,50	4,86	4,86	4,86	4,86	6,00
2,00	11	2,48	21°	11	6,68	6,68	7,96	11	5,65	5,65	5,65	5,65	7,15
2,20	6	2,68	14°	6	6,00	6,00	9,62	6	5,89	5,89	5,89	5,89	8,43
2,40	27	2,88	27°	27	8,40	8,40	11,68	22,07	7,08	7,08	7,08	7,08	10,03
2,60	35	3,08	28° 30'	35	11,38	11,38	13,79	26,11	9,98	9,98	9,98	9,98	11,81
2,80	21	3,28	24°	21	12,68	12,68	15,83	21	10,77	10,77	10,77	10,77	13,75
3,00	25	3,48	24° 30'	25	14,24	14,24	17,93	25	12,29	12,29	12,29	12,29	15,76
3,20	37	3,68	27° 30'	37	16,82	16,82	20,46	37	14,70	14,70	14,70	14,70	18,13
3,40	41	3,88	27° 45'	41	19,55	19,55	23,31	41	17,25	17,25	17,25	17,25	20,81
3,60	31	4,08	25°	31	21,09	21,09	25,97	31	18,78	18,78	18,78	18,78	23,76
3,80	51	4,28	29°	51	24,35	24,35	28,18	51	21,80	21,80	21,80	21,80	26,32
4,00	61	4,48	29° 30'	61	28,26	28,26	29,43	61	25,39	25,39	25,39	25,39	28,05
4,20	77	4,68	31° 30'	77	33,28	33,28	29,49	77	28,97	28,97	28,97	28,97	29,77
4,40	73	4,88	30°	73	37,52	37,52	29,82	73	33,91	33,91	33,91	33,91	29,42

480	59	508	28° 30'	59	4015	2935	2849	59	3648	2872	2782
480	37	528	24° 30'	37	3700	2852	2858	37	3700	2824	2834
520	55	548	27°	55	3923	2787	2860	55	3501	2770	2827
520	27	568	24° 30'	27	2700	2700	3401	27	2700	2700	3055
540	67	588	28° 30'	67	3092	3092	3358	67	3041	3041	3285
560	45	608	25°	45	3262	3262	3566	45	3497	3497	3474
580	37	628	23°	37	3349	3349	3797	37	3283	3283	3684
600	72	648	21° 30'	72	3728	3728	4405	72	3617	3617	3861
620	54	668	24° 30'	54	3923	3923	4444	54	3798	3798	4240
640	64	688	26° 30'	64	4187	4187	4791	64	4038	4038	4537
660	82	708	28° 30'	82	4582	4582	5423	82	4390	4390	4733
680	84	728	28° 30'	84	4962	4962	5736	84	4733	4733	4912
700	96	748	29° 30'	96	5443	5443	5781	96	5138	4988	4952
720	92	768	29°	92	5795	5576	5723	92	5483	4979	4909
740	94	788	29°	94	6164	5544	5706	94	5829	4948	4841
760	100	808	29°	100	6563	5764	5706	100	6189	4894	4749
780	102	828	28°	102	6928	5784	5774	102	6539	4814	4632
800	92	848	28°	92	7182	5263	5710	92	6797	4708	4492
820	94	868	28°	94	7451	5145	4814	94	7051	4579	4327
840	92	888	27° 30'	92	7673	4936	4584	92	7254	4427	4136
860	102	908	28°	102	7958	4726	4345	102	7557	4282	3978
880	102	928	28°	102	8221	4479	4005	102	7809	4049	3670
900	108	948	28°	108	8571	4193	3652	108	8091	3817	3380
920	108	968	28°	108	8779	3882	3253	108	8355	3554	3075
940	98	988	27°	98	8945	3485	2888	98	8633	3258	2786
960	102	1008	28°	102	9177	3087	2630	102	8767	2923	2586
980	52	1028	22°	52	9477	2589	2489	52	8767	2563	2476

1000	24	10.48	14° 30'	24	24.92	24	24.82
1020	28	10.68	15° 30'	28	25.49	24	24.48
1040	28	10.88	15° 30'	28	25.89	24	24.83
1060	36	11.08	18°	36	26.13	24	25.88
1080	48	11.28	20° 30'	48	26.20	24	27.57
1100	28	11.48	15°	28	26.34	24	27.83
1120	26	11.68	14°	26	26.67	26	26
1140	28	11.88	15°	28	27.21	26	26.34
1160	30	12.08	15° 30'	30	27.68	26	26.79
1180	32	12.28	15° 30'	32	28.02	26	27.34
1200	34	12.48	16°	34	28.18	26	27.99
1220	32	12.68	15° 30'	32	28.14	28	28.16
1240	34	12.88	15° 30'	34	28.19	28	28.14
1260	32	13.08	13° 30'	32	28.38	28	28.08
1280	28	13.28	14° 30'	28	28.73	28	28
1300	31	13.48	14° 30'	31	29.22	28	28.39
1320	33	13.68	15°	33	29.71	28	28.83
1340	33	13.88	15°	33	30.22	29	29.34
1360	33	14.08	14° 30'	33	30.69	29	29.68
1380	33	14.28	14° 30'	33	30.94	30	30.22
1400	39	14.48	16°	39	31.30	31	31.00
1420	31	14.68	15° 30'	31	31.57	31	31
1440	33	14.88	14°	33	31.82	31	31.33
1460	35	15.08	14° 30'	35	31.83	31	31.76
1480	33	15.28	14°	33	32.11	32	32.04
1500	33	15.48	13° 30'	33	32.37	32	32.30

près de Ypres. A partir de 0,80 m sous la surface du sol on se trouve dans l'argile de l'Yprésien.

On a calculé les valeurs de d_g pour un pieu Franki à 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 $C_{k,t}$. Au-dessous de ce niveau la courbe d_g passe par les minima de la courbe $C_{k,t}$.

TABIEAU XXXI. YPRES. — Essai de pénétration I. — Base du pieu $\varnothing = 1,157$ m.

1	2	3	4	5	6	7	8
Profondeur h	$C_{k,t}$ (valeur lecture)	P_b ($V_k = 10 \frac{kg}{cm^2 \cdot cm^2}$)	φ, φ'	$d_g^{(1)}$ Form (62)	$d_{g,j+1}$ Form (100)	$d_{g,q+1}$ Form (81)	d_g valeurs homogénéisées
m	kg/cm^2	t/m^2	degrés	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2
0	0	0	0	0	0	0	0
0,20	22,33	0,32	37° 30'	5,83	4,77	4,77	3,58
0,40	12,36	0,64	37° 30'	4,68	2,52	2,52	4,14
0,60	38,38	0,96	36°	5,31	3,14	3,14	4,66
0,80	16,44	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°	12,94	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	13,34
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	16,86	6,40	17°	18,86	14,00	14,00	16,05
4,20	16,89	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	16,11	16,11	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	19,08
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	25,96
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	26,68	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	38,74	23,80	10° 30'	38,74	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	31,10
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	38,93	25,40	9° 30'	38,93	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	34,65	34,65	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	33,21	27,40	9°	33,21	35,44	35,44	
21,00	45,24	27,60	10° 30'	45,24	35,90	35,90	
21,20	41,27	27,80	9° 30'	41,27	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 soil 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, jull).
- [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		
2. Méthode de Meyerhof amendée	237		
3. Méthode R.I.G.	246		
α) Calcul des valeurs dites homogènes $d_g^{(1)}$	247		
β) Influence du gradient d'accroissement ou de décroissement	247		
β-1. Valeurs descendantes $d_{g,j+1}$	247		
β-2. Valeurs montantes $d_{g,q+1}$	257		
γ) Homogénéisation	258		
4. Comparaison des valeurs expérimentales et des valeurs calculées des capacités portantes de rupture pour les pieux d'essais de Zwijnaarde	260		
5. Calcul des valeurs de d_g pour des pieux $\varnothing = 0,52$ m à Zwijnaarde	261		
			fasc. 5
VI. Application de la méthode R.I.G. au cas des essais de l'I.R.A.B.A. avec des sables de moyenne et faible compacité	321		
a-1. Généralités	321		
a-2. Sable de compacité moyenne	321		
a-3. Sable de faible compacité	321		
			fasc. 6
VII. Comparaison des capacités portantes de rupture par résistance à la base calculées par la méthode R.I.G. avec les valeurs déduites d'essais de chargement sur pieux	351		
VIII. Essai à grande échelle de Rotterdam	385		
IX. Application de la méthode R.I.G. à quelques profils de sols caractéristiques	386		
a. Sable de forte compacité à partir de la surface	386		
b. Sable de compacité moyenne reposant sur une couche d'argile consistante	390		
c. Argile tertiaire consistante	390		
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^e 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_0 de gemeten eenheidsweerstand aan de basis van de paal $\varnothing 42,6$ cm.

(*) Voor de aanvang zie n^o 4/1971/72, blz. 261 en het 1^o vervolg n^o 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 behoort met de curve E_0 aansluit.

Daar men echter *à priori* niet weet welke de invloed van de minder weerstandbiedende insluitingen zal zijn, wordt veiligheidshalve vereist niet met de waarden $d_{0,J+1}$ doch wel met de waarden d_0 te rekenen.

VIII. AANWENDING VAN DE METHODE R.I.G VOOR ENKELE KARAKTERISTIEKE BODEM PROFIELEN

Ten einde een indruk te verkrijgen in hoeverre de waarde van het grensdragvermogen van een paal door weerstand aan de basis d_0 van de in de diepsonderingen opgemeten conusweerstand $C_{k,a}$ afwijkt, werd de beschreven methode op enkele karakteristieke bodemprofielen toegepast.

De figuur 61 geeft het verloop der d_0 waarden voor een paal \varnothing 40 in het geval van een zeer dichtgepakte zandlaag welke vanaf het maaiveld wordt gevonden.

De figuur 62 geeft het verloop van de d_0 waarden respectievelijk voor palen met basis \varnothing 0,506 m en \varnothing 0,620 m in het geval van een losgepakte à middelmatig gepakte zandlaag.

De figuur 63 geeft het verloop van de d_0 waarden voor een Franki paal met overbrede basis \varnothing 1,157 m in het geval van een vaste kleilaag.

IX. CONCLUSIE

In de bijdrage wordt een methode beschreven, om uit de conusweerstand $C_{k,a}$ een aan de veilige kant ge-

legen waarde voor het grensdragvermogen d_0 door weerstand aan de basis van in de grond geheide palen af te leiden. In deze methode wordt hoofdzakelijk door een beperking van de aangroeiingsgradiënt van de weerstanden met het schaaleffect rekening gehouden.

Deze methode wordt aan de statistische methode welke door het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft wordt aangewend, en aan de aangepaste methode van Meyerhof getoetst.

Bij de opstelling van de methode werden de resultaten van de proeven, welke door de I.R.A.B.A. op dichtgepakt zand werden uitgevoerd, in beschouwing genomen.

De resultaten van de methode werden anderzijds vergeleken met de proefondervindelijke gegevens van belastingsproeven welke, met zeer veel zorg, op Franki-palen met overbrede basis werden uitgevoerd, met de proeven van de I.R.A.B.A. in zand met losse en middelmatige pakkingsdichtheid, en tenslotte ook met een bepaald aantal normale belastingsproeven op palen.

Uit de verrichte vergelijkingen kan worden geconcludeerd dat met de beschreven methode voor geheide palen een aan de veilige kant gelegen waarde voor het grensdragvermogen door weerstand aan de basis kan worden afgeleid.

Uit de beschrijving van de methode zou de indruk kunnen worden gewekt dat de toepassing ervan vrij ingewikkeld is. In feite kan ze gemakkelijk worden geprogrammeerd zodat de berekeningen slechts betrekkelijk weinig tijd vereisen.

I. R. S. I. A.

Convention n° 2178

Recherche sur la

CHARGE PORTANTE
DES PIEUX BATTUS FONDES DANS
LA PARTIE SUPERIEURE D'UNE COUCHE
DE SABLE COMPACT ET SITUEE
EN-DESSOUS D'UNE COUCHE MOLLE

VOLUME XX

Annexes 17 à 21
Texte, figures, plans

JUIN 1985

ANNEXE 21

AMELIORATIONS APORTEES A LA PROCEDURE DE DETERMINATION
DU POUVOIR PORTANT LIMITE PAR LA METHODE DU
PROFESSEUR DE BEER.

Dans l'article "Méthodes de déduction de la capacité portante d'un pieu à partir des résultats d'un essai de pénétration" paru aux Annales des Travaux Publics de Belgique, n°4, 5 et 6, 1971/1972, le Professeur De Beer a proposé une méthode permettant de calculer le pouvoir portant limite de la base d'un pieu à partir des résultats d'un essai de pénétration effectué dans un terrain hétérogène.

Cette méthode a été appliquée au droit des sept pieux d'essai de la recherche IRSIA à Kallo.

L'application de la méthode à des bases élargies et surélargies (pieux n° I à IV) a nécessité le calcul de $d_{g,DB}$ pour des profondeurs successives échelonnées de 20 en 20 cm à partir des valeurs des résistances au cône $C_{k,d}$ des essais de pénétration et pour des diamètres croissants et ceci afin de pouvoir faire les interpolations aussi bien sur la profondeur que sur le diamètre.

Au cours des calculs effectués pour des diamètres fort proches les uns des autres, deux types de discontinuités ont été observées d'où il en résulte que la courbe des pouvoirs portants, au lieu d'être une fonction régulièrement croissante ou décroissante, présente une allure en dents de scie. Ces discontinuités, résultant d'hypothèses faites dans le calcul, ont été mieux mises en évidence par le calcul de $d_{z,DB}$ par ordinateur.

Afin de pallier les inconvénients résultant de l'apparition de ces discontinuités, deux voies sont proposées :

- ✕ la modification de certaines hypothèses de la méthode proposée dans l'article précité;
- ✕ l'adoption d'une procédure simplifiée qui, sans modifier des hypothèses de la méthode, évite l'apparition des discontinuités.

A. AFFINEMENT DE CERTAINES HYPOTHESES DE LA METHODE

1. Discontinuités provenant, lors de l'homogénéisation, de l'introduction, par saut de 20 cm, de valeurs supplémentaires de $d_{g,j+1}$

Le tableau A21/1 reproduit des valeurs de $d_{g,DB}$ calculées par la firme Pieux Franki au droit de l'essai de pénétration I pour des profondeurs variant de 7.80 m à 9.00 m par incrément de 0.20 m et pour 4 diamètres de la base (67.70 cm, 82.60 cm, 84.40 cm et 90.17 cm) du pieu.

Les valeurs de $d_{g,DB}$, issues du tableau A21/1, sont aussi reproduites à la figure A21/1 où l'on a porté $d_{g,DB}$ en fonction du diamètre pour diverses valeurs de la profondeur.

Alors que l'on devait s'attendre à disposer de valeurs situées sur des courbes continues, c'est-à-dire régulièrement croissantes ou décroissantes en fonction du diamètre, les courbes de la figure A21/1 montrent une allure en "dents de scie".

Si, dans les applications courantes, la précision des résultats obtenus est largement suffisante, il a paru nécessaire, dans la présente recherche, de détecter la raison de cette discontinuité.

Elle pouvait provenir soit d'hypothèses faites dans la méthode proposée, soit de la procédure de calcul par ordinateur.

Comme, outre la firme Pieux Franki, le département de la construction de l'UCL disposait d'un programme ordinateur construit de manière totalement indépendante de celui de Pieux Franki, il a été procédé à la détermination de $d_{g,DB}$ à partir des mêmes données de l'essai de pénétration I au moyen du programme UCL. Les valeurs sont reprises au tableau A21/2. Les valeurs du tableau A21/2 sont aussi dessinées à la figure A21/1.

On constate que les valeurs A21/1 et A21/2 sont quasi les mêmes pour les diamètres de 67.70, 82.60 et 84.40 cm (même nombre de valeurs homogénéisées) et différentes pour le diamètre de 90.17 cm (car Pieux Franki a homogénéisé sur 6 valeurs et UCL sur 5 valeurs). On constate, tant pour les calculs Franki que pour les calculs UCL, que le diagramme est en "dents de scie".

Cette vérification a montré que l'anomalie ne provenait pas de la procédure de calcul mais était inhérente à une hypothèse de la méthode.

Afin d'examiner la forme exacte des courbes représentées à la figure A21/1, il a été procédé, à partir du programme UCL, au droit du même essai de pénétration I, pour les deux profondeurs extrêmes de 7.80 m et de 9.00 m, à la détermination de $d_{g,DB}$ en fonction du diamètre de la base du pieu variant de 10 cm à 1 m par incrément de 5 cm.

Ces valeurs sont représentées par des triangles à la figure A21/2. On constate que ces points définissent des courbes présentant une continuité par tranche de 20 cm et créent une discontinuité d'ordre 0 (c-à-d un saut) tous les 20 cm, c-à-d pour des diamètres compris entre 15 et 20 cm, 35 et 40 cm, 55 et 60 cm, 75 et 80 cm, 95 et 100 cm. Les portions de courbes sont dessinées en trait continu à la figure A21/2 et indiquées (a).

Afin de cerner d'encore plus près le diamètre définissant la discontinuité, les calculs ont été repris par incrément de 1 cm aux environs du saut correspondant aux diamètres de 55 à 66 cm. Ces valeurs sont représentées par des triangles à la figure A21/3. On constate que la discontinuité se situe entre les diamètres de 59 et 60 cm. Les courbes reliant ces points sont dessinées en trait continu (AB et CD pour la profondeur de 7.80 m et EF et GH pour la profondeur de 9 m) et indiquées (a).

Il s'est avéré que ces discontinuités trouvent leur origine dans la manière suivant laquelle l'homogénéité des valeurs descendantes $d_{g,j+1}$ ou montantes $d_{g,q+1}$ a été faite sur une épaisseur égale à une fois le diamètre D de la base du pieu tel que proposé au point IV-a-5 de l'article précité.

On ne dispose d'une valeur de d_g que tous les 20 cm et l'on suppose que la base du pieu coïncide avec une de ces profondeurs.

L'homogénéisation telle que proposée dans l'article est faite par pas de 20 cm.

On suppose que l'homogénéisation doit se faire pour un pieu de diamètre D , variable, situé à la profondeur z_0 , celle-ci correspondant à un niveau de lecture du $C_{k,d}$.

La première étape consiste à calculer le pouvoir portant limite $d_{g,i}$, pour un diamètre donné D , aux profondeurs $z_0 + i\Delta z$ (avec $\Delta z = 0.20$ m et $i \geq 0$) soit $z_0, z_0 + \Delta z, z_0 + 2\Delta z, \dots$

Soit (fig. A21/4) les points A_{ji} représentant ces valeurs pour divers diamètres D_j (A_{ji} est la valeur de $d_{g,i}$ correspondant à la profondeur $z_0 + i\Delta z$ pour un pieu de diamètre D_j). On a supposé que le diamètre $(j-1)\Delta z < D_j < j\Delta z$ (c-à-d que $0 < D_1 < 0.20$ m; 0.20 m $< D_2 < 0.40$ m; etc...).

Reportons ces mêmes valeurs de $d_{g,i}$ en fonction de D et $z_0 + i\Delta z$ comme paramètre (fig. A21/4). Les points correspondant à A_{ji} sont indiqués B_{ji} . En joignant les points $B_{j0}, B_{j,1}, B_{j,2} \dots$ on obtient les courbes donnant $d_{g,0}, d_{g,1}, d_{g,2}$ pour les profondeurs $z_0, z_0 + \Delta z, z_0 + 2\Delta z, \dots$ soit $d_{g,i}(z_0 + i\Delta z)$.

La deuxième étape consiste à homogénéiser les valeurs de $d_{g,i}$. Dessinons les valeurs de $d_g^{(m)}$, valeurs homogénéisées par pas de 0.20 m suivant les formules (A21/1) et (A21/2).

Lorsque $D < 0.20$ m (par exemple D_1), on a, par (A21/2), $n = 0$ et par (A21/2) :

$$d_g^{(m)} = d_{g,0}$$

Si l'on appelle z_0 la profondeur à laquelle est supposée placée la base du pieu, $z_0 + i\Delta z$ les profondeurs successives où l'on dispose d'une valeur de d_g ($\Delta z = 20$ cm et $i \geq 0$) et $d_{g,i}$ la valeur de $d_{g,j+1}$ ou $d_{g,q+1}$ prise en compte à la profondeur $z_0 + i\Delta z$, la valeur homogénéisée $d_g^{(m)}$ est calculée comme suit :

$$d_g^{(m)} = \frac{1}{1+n} \sum_{i=0}^n d_{g,i} \quad (\text{A21/1})$$

avec n défini par :

$$n = \text{valeur entière par défaut de } \left(\frac{D}{0.20} \right) \quad (\text{A21/2})$$

avec D en m.

L'homogénéisation se fait donc :

- sur une valeur $d_{g,0}$ (celle correspondant à la profondeur où la base du pieu est placée) si $D < 0.20$ m soit $n = 0$
- sur deux valeurs $d_{g,0}$ et $d_{g,1}$ si $0,20 \text{ m} \leq D < 0,40 \text{ m}$ soit $n = 1$, etc...

Le programme de l'UCL est conçu de telle sorte que la prise en charge d'une valeur nouvelle de $d_{g,i}$ intervient dès que le diamètre D atteint un multiple de 0.20 m, ce qui explique les sauts aux figures A21/2 et A21/3.

Examinons comment on peut retrouver l'allure des courbes

(a) de la figure A21/2.

et la valeur de $d_g^{(m)}$ est donnée par la courbe de $d_{g,0}(z_0)$ soit M_0N_0 (fig. A21/4-b) (le sigle \cap indique que la valeur $D = 0.20$ m est exclue).

Lorsque $0.20 \text{ m} \leq D < 0.40 \text{ m}$ (par exemple D_2), on a $n = 1$ et :

$$d_g^{(m)} = \frac{d_{g,0} + d_{g,1}}{2}$$

on détermine ainsi, pour le diamètre D_2 le point E_2 tel que (fig. A21/4-b) :

$$C_2E_2 = \frac{C_2B_{20} + C_2B_{21}}{2}$$

et la valeur de $d_g^{(m)}$ pour $0.20 \text{ m} \leq D < 0.40 \text{ m}$ est donnée par M_1N_1 .

Et ainsi de suite, par exemple, pour $0.40 \text{ m} \leq D < 0.60 \text{ m}$ (diamètre D_3) on a $n = 2$ et

$$d_g^{(m)} = \frac{d_{g,0} + d_{g,1} + d_{g,2}}{3}$$

soit

$$C_3E_3 = \frac{C_3B_{30} + C_3B_{31} + C_3B_{32}}{3}$$

et la valeur de $d_g^{(m)}$ pour $0.40 \text{ m} \leq D < 0.60 \text{ m}$ est donnée par M_2N_2 .

Les tronçons M_0N_0 , M_1N_1 , M_2N_2 , ... redonnent les courbes \textcircled{a} des figures A21/2 et A21/3.

Afin de supprimer ces discontinuités, il a été proposé de remplacer dans la deuxième étape du calcul l'homogénéisation par pas de 0.20 m par une homogénéisation proportionnelle définie comme suit. On notera la valeur du pouvoir portant homogénéisé proportionnellement $d_g^{(mp)}$.

Supposons avoir affaire à un pieu de diamètre D_3 . Il faut homogénéiser sur une profondeur située sous la base du pieu valant D_3 soit jusqu'à la profondeur $z_0 + D_3$ (fig. A21/4-a). Traçons la ligne brisée $A_{30}A_{31}A_{32}A_{33}$ en joignant par des segments de droite les points A_{31} et définissons la surface hachurée $F_0A_{30}A_{31}A_{32}H_3G_3F_0$ définie par l'axe des z , la ligne brisée $A_{30}A_{31}A_{32}H_3$ et les abscisses z_0 (F_0A_{30}) et $z_0 + D_3$ (G_3H_3).

On définit $d_g^{(mp)}$ comme étant la largeur d'un rectangle qui a même surface que la surface hachurée et comme hauteur la valeur $D_3 = \overline{F_0G_3}$ soit $F_0K_0K_3G_3F_0$ le rectangle et en reportant la largeur F_0K_0 dans le diagramme de la figure A21/4-b, on trouve le point L_3 sur l'ordonnée $D = D_3$ qui donne le pouvoir portant homogénéisé proportionnellement $d_g^{(mp)}$ pour un pieu de diamètre D_3 dont la base est située au niveau z_0 .

Etant donné la variation continue de la surface hachurée en fonction du diamètre du pieu, on obtiendra une courbe continue de $d_g^{(mp)}$ en fonction du diamètre D . Ce sont les courbes indiquées (b) aux figures A21/2 et A21/3 pour un pieu dont la base est située aux profondeurs de 7.20 m et de 9 m. A la figure A21/3 (diamètres compris entre 54 et 66 cm) les courbes homogénéisées proportionnellement sont IJ pour la profondeur de 7.20 m et KL pour la profondeur de 9 m.

Le calcul de la largeur $d_g^{(mp)}$ du rectangle $F_0K_0K_3G_3$ (fig. A21/4 -a) se calcule en remarquant que la surface hachurée est la somme de trapèzes dont tous, sauf le dernier, ont une hauteur de $\Delta z = 0.20$ m. On a donc :

$$d_g^{(mp)} = \frac{1}{D} \left\{ 0.2 \varepsilon_1 \left[\frac{d_{g,0}}{2} + \varepsilon_2 \sum_{i=1}^{n-1} d_{g,i} + \frac{d_{g,n}}{2} \right] + \frac{D - 0.2 n}{0.4} \left[(0.4 + 0.2 n - D) d_{g,n} + (D - 0.2 n) d_{g,n+1} \right] \right\} \quad (A21/3)$$

avec n défini par (A21/2) :

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= 0 \text{ si } n = 0 \\ &= 1 \text{ si } n > 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{et } \varepsilon_2 &= 0 \text{ si } n < 2 \\ &= 1 \text{ si } n \geq 2 \end{aligned}$$

et D exprimé en m.

2. Discontinuités provenant des épaisseurs critiques à considérer lorsque l'angle de frottement φ' dépasse $32^\circ 30'$

L'examen de la courbe (b) (fig. A21/2) donnant $d_{g,DB}$ en fonction de D pour une profondeur de 9 m montre une discontinuité "d'ordre 1" (saut de la tangence) pour le diamètre de 0.35 m, soit au point A de la figure A21/2.

Afin de rechercher l'origine de cette discontinuité, il a été à nouveau procédé, sur l'essai de pénétration I et à une profondeur de 9 m, à un calcul de $d_{g,DB}$ à

partir du programme "homogénéisé proportionnellement" pour des diamètres variant de 30 à 40 cm par incrément de 2 cm (fig. A21/5). Les points sont marqués d'une croix et l'on trouve la courbe LM qui s'inscrit en continuité de la courbe KL tandis que la courbe présente une discontinuité d'ordre 0 (c.-à-d. un saut) pour un diamètre du pieu de 40 cm (soit entre les points M et N). En fait, on aura les valeurs représentées par la courbe KLM pour $D < 40$ cm tandis que l'on aura les valeurs de la courbe NP pour $D \geq 40$ cm.

La raison de cette discontinuité réside dans le raffinement apporté à la méthode décrite au point IV-d de l'article précité. Le tableau VI de l'article précité précise les épaisseurs critiques h_{crit} à considérer pour les valeurs descendantes pour des pieux dont la base a un diamètre supérieur à 40 cm et aux profondeurs où l'angle de frottement apparent φ' égale ou dépasse $32^{\circ}30'$. Cette discontinuité ne peut donc se présenter qu'aux diamètres de 40 cm ou 60 cm dans un sol fort compact : c'est précisément le cas pour $D = 40$ cm à la profondeur de 9 m (fig. A21/5) alors qu'il ne se présente pas pour $D=60, 80$ ou 100 cm.

Les diagrammes des annexes A21/6 représentent les valeurs descendantes d_{gj} (c.-à-d. avant toute homogénéisation) en fonction du diamètre D du pieu. Les valeurs des $d_{g,j+1}$ y sont calculées par la formule (120) et compte tenu des hypothèses reprises au tableau VI de l'article précité.

Si l'angle de frottement φ' est inférieur à $32^{\circ}30'$ ($\varphi' < 32^{\circ}30'$), il n'y aura aucune discontinuité dans la courbe $d_{g,j+1}$ car on ne choisit qu'une seule valeur de h_{crit} .

Si l'angle de frottement est compris dans la zone considérée entre $32^{\circ}30'$ et $37^{\circ}30'$ ($32^{\circ}30' \leq \varphi' < 37^{\circ}30'$), il y aura une discontinuité pour $D = 40$ cm. Traçons (fig. A21/6-a), les courbes A_1B_1 resp. A_2B_2 donnant les valeurs de $d_{g,j+1}$ pour h_{crit} de 20 cm resp. de 40 cm. D'après les données du tableau VI, il faut prendre la plus faible des deux valeurs de $d_{g,j+1}$ pour $D \geq 40$ cm : on prendra donc pour l'exemple dessiné la courbe A_1C_1 pour $D < 40$ cm et C_2B_2 pour $D \geq 40$ cm et il y aura discontinuité C_1C_2 pour $D = 40$ cm.

Si l'angle de frottement est supérieur, dans la zone considérée à $37^{\circ}30'$ ($\varphi \geq 37^{\circ}30'$), il y aura des discontinuités pour $D = 20$ et 40 cm. Traçons (fig. A21/6-b) les courbes A_1B_1 , A_2B_2 , A_3B_3 donnant respectivement $d_{g,j+1}$ pour $h_{crit} = 20$ cm, 40 cm, 60 cm. D'après les données du tableau VI, il faut prendre la plus faible des valeurs de A_1B_1 et A_2B_2 pour $40 \text{ cm} \leq D < 60$ cm et la plus faible des trois valeurs pour $D \geq 60$ cm. On prendra donc pour l'exemple dessiné, la courbe A_1C_1 pour $D < 40$ cm, C_2D_2 pour $40 \text{ cm} \leq D < 60$ cm et D_3B_3 pour $D \geq 60$ cm et il y aura des discontinuités C_1C_2 pour $D = 40$ cm et D_1D_2 pour 60 cm.

Comme ces discontinuités interviennent dans les moyennes arithmétiques permettant les homogénéisations, qu'elles soient pas à pas ou proportionnelles, ceci explique les discontinuités que l'on peut obtenir pour $D = 40$ cm ou 60 cm.

Afin de supprimer ces discontinuités, il est proposé de calculer la valeur de $d_{g,j+1}$ en prenant la valeur

obtenue en faisant une interpolation linéaire entre les valeurs minimales correspondant à des niveaux successifs de 20 cm c.-à-d. par ex. en traçant la droite E_1C_2 à la figure A21/6-a et les droites E_1C_2 et C_2D_3 à la figure A21/6-b.

Si l'on appelle D_2 le diamètre du pieu correspondant à une discontinuité et D_1 la diamètre correspondant au précédent diminué d'une entredistance $a = 20$ cm, soit $D_1 = D_2 - 0.2$ m, $d_{g,j+1}^{(D_2)}$ et $d_{g,j+1}^{(D_1)}$ la valeur minimale de $d_{g,j+1}$ à prendre en compte au niveau correspondant (soit par exemple les points C_2 et E_1 de la fig. A21/2-a, la valeur de $d_{g,j+1}^{(D)}$ à prendre en compte pour le diamètre D vaut :

$$d_{g,j+1}^{(D)} = \frac{D_2 - D}{0.2} \cdot d_{g,j+1}^{(D_1)} + \left(1 - \frac{D_2 - D}{0.2}\right) d_{g,j+1}^{(D_2)} \quad (A21/4)$$

avec D et D_2 en m.

B. PROCEDURE DE CALCUL SIMPLIFIEE

Etant donné que, normalement, on ne dispose d'une lecture du $C_{k,d}$ que tous les 20 cm, il apparaît peu utile de prévoir une procédure affinée pour pallier les discontinuités rencontrées.

Il a dès lors été proposé de calculer le $d_{g,DB}$ pour les diamètres qui sont des multiples de 20 cm et d'interpoler linéairement entre ces valeurs.

C. COMPARAISON DES RESULTATS

Les figures A21/7 et A21/8 donnent les courbes obtenues au droit de l'essai de pénétration I aux profondeurs de 7.20 m et de 9 m donnant $d_{g,DB}$ en fonction du diamètre D de la base du pieu.

On y retrouve 4 courbes :

- courbe (a) : méthode initiale telle que proposée dans l'article précité (homogénéisation par pas) ;
- courbe (b) : méthode tenant compte de l'homogénéisation proportionnelle telle que décrite au point A21/1 de la présente note ;
- courbe (c) : méthode tenant compte par l'homogénéisation proportionnelle et de la correction due aux valeurs élevées de φ' ($\varphi \geq 32^{\circ}30'$) telle que décrit aux points A21/1 et A21/2 de la présente note
- courbe (d) : méthode initiale appliquée aux diamètres des pieux multiples de 20 cm et linéarisée entre ces valeurs telle que décrit au point B de la présente note.

Les valeurs obtenues pour la profondeur de 9 m (fig. A21/8) ne suscitent aucun commentaire.

Par contre, on constate quelques anomalies pour la profondeur de 7.80 m (fig. A21/7) pour des diamètres de pieu inférieurs à 20 cm. Elles relèvent de l'application de la méthode et de ses affinements (notamment le fait que le $d_{g,DB}$ devient pour les courbes (b) et (c) supérieur à $C_{k,d}$). Toutes ces irrégularités disparaissent dans la courbe (d).

TABLEAU A21/1
Valeurs de $d_{g,DB}$ en kg/cm^2 (Pieux Franki)

Profondeur m	Diamètre de la base des pieux			
	67.70 cm	82.60 cm	84.40 cm	90.17 cm
7.80	8.21	10.71	10.56	13.54
8.00	14.78	16.84	16.59	19.79
8.20	23.54	24.74	24.37	27.27
8.40	33.22	33.09	32.60	35.19
8.60	42.92	41.60	41.00	43.27
8.80	52.57	50.14	49.53	51.21
9.00	62.32	58.57	57.75	59.09
homogénéisation sur n valeurs	n = 4	n = 5	n = 5	n = 6

TABLEAU A-21/2
Valeurs de $d_{g,DB}$ en kg/cm^2 (Construction UCL)

Profondeur m	Diamètre de la base des pieux			
	67.70 cm	82.60 cm	84.40 cm	90.17 cm
7.80	8.26	10.77	10.62	10.17
8.00	14.87	16.94	16.69	15.95
8.20	23.69	24.89	24.52	23.42
8.40	33.43	33.29	32.80	31.34
8.60	43.19	41.85	41.24	39.43
8.80	52.90	50.44	49.72	47.58
9.00	62.70	58.91	58.08	55.63
homogénéisation sur n valeurs	n = 4	n = 5	n = 5	n = 5

KALLO

Essai de pénétration I

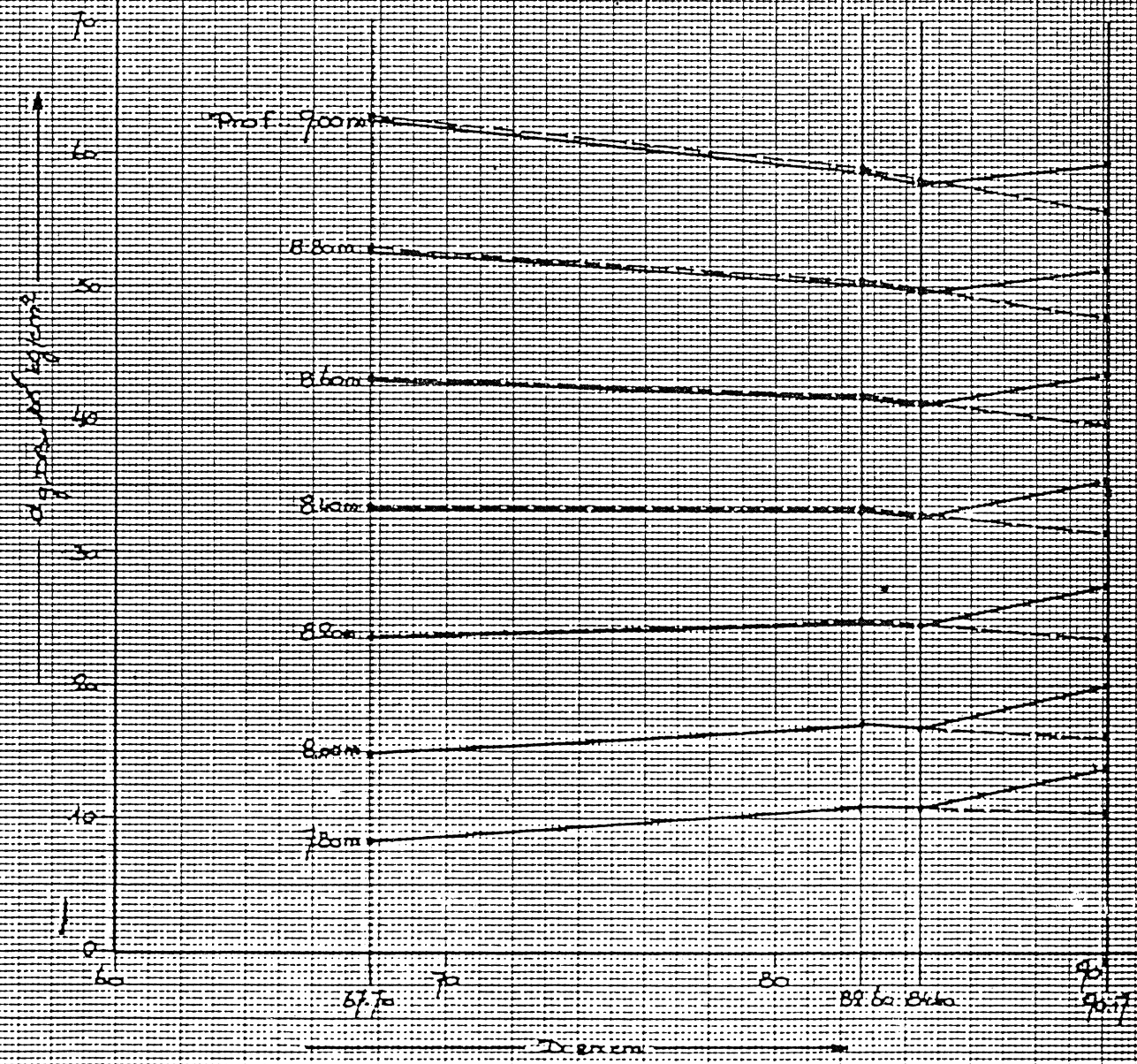


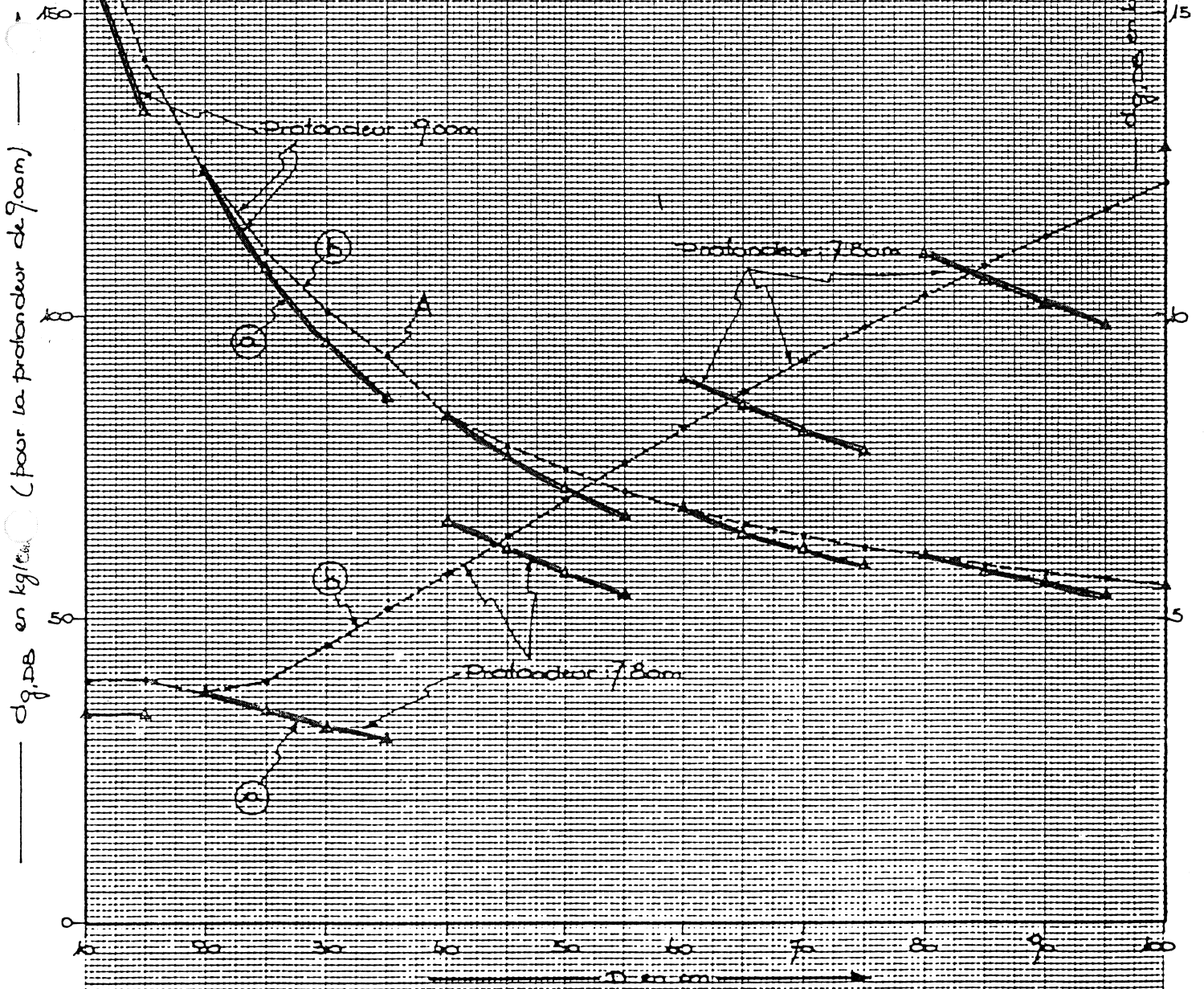
Fig. A21/1

— Calcul piéx Frank
- - - Calcul U.C.L.

A21/16

KALLO

Essai de pénétration 1



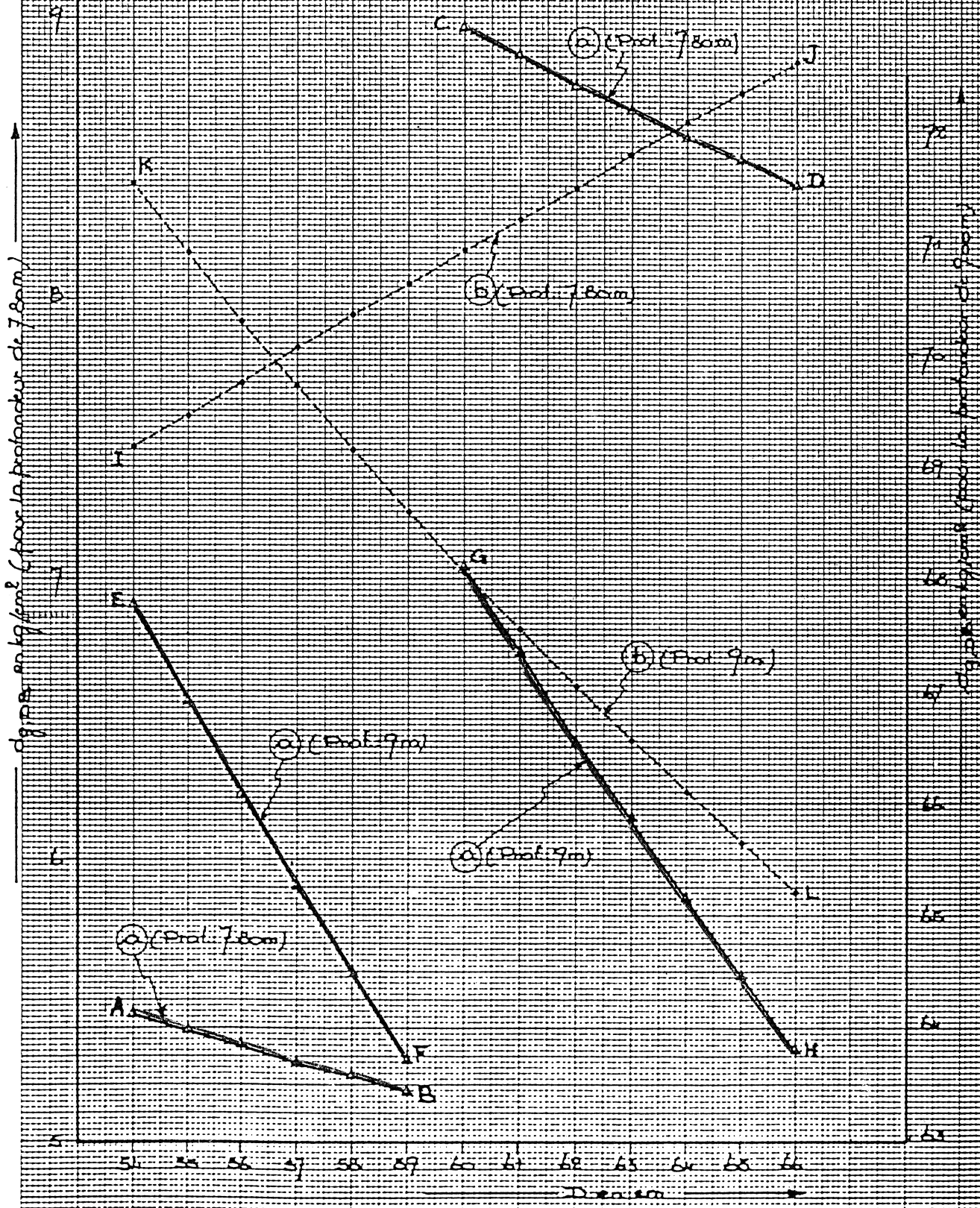
- a. a. — Homogénéisation par bats de 90cm
- a. b. — Homogénéisation proportionnelle

Fig. A21/2

KALLO

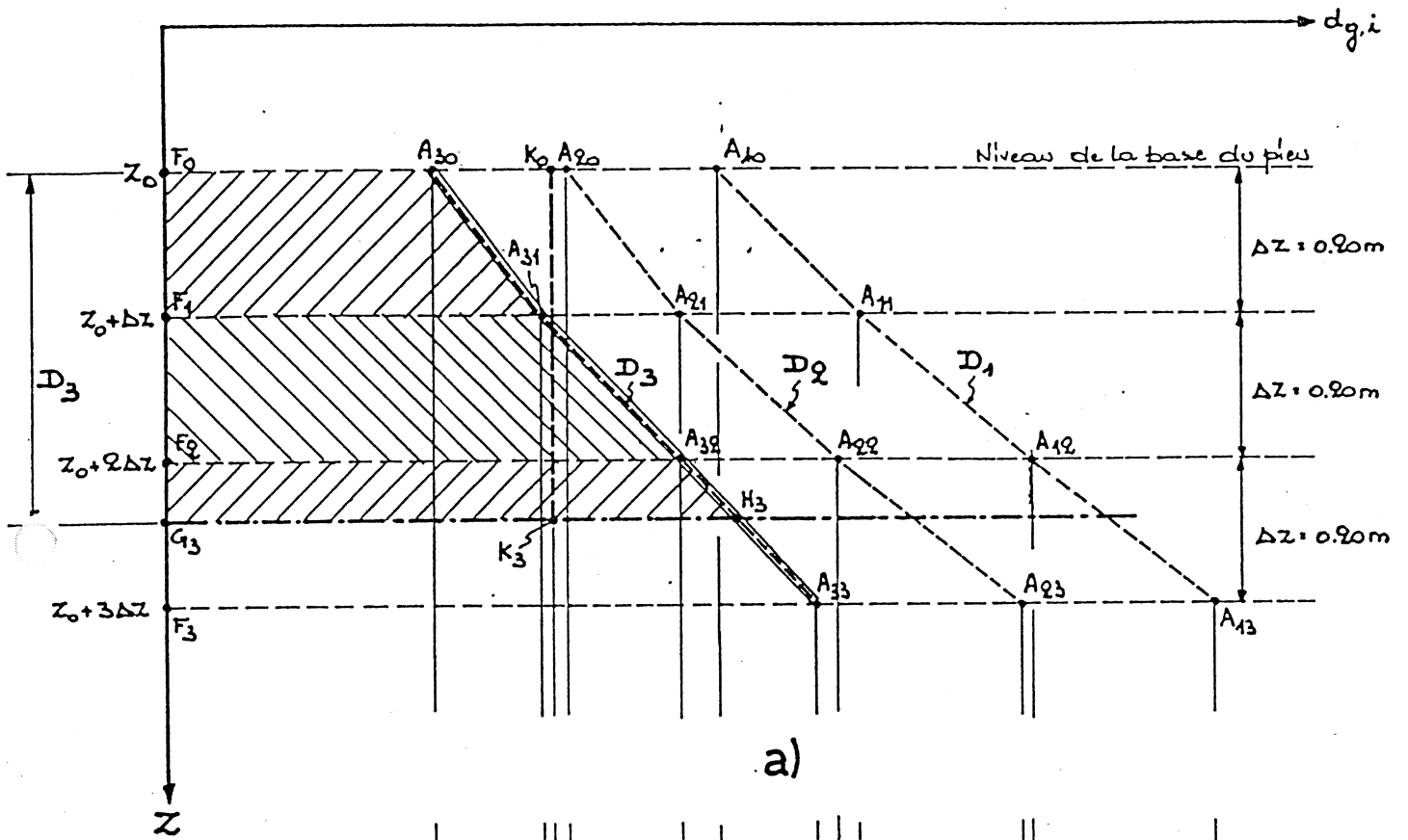
AZ117

Essai de pénétration I

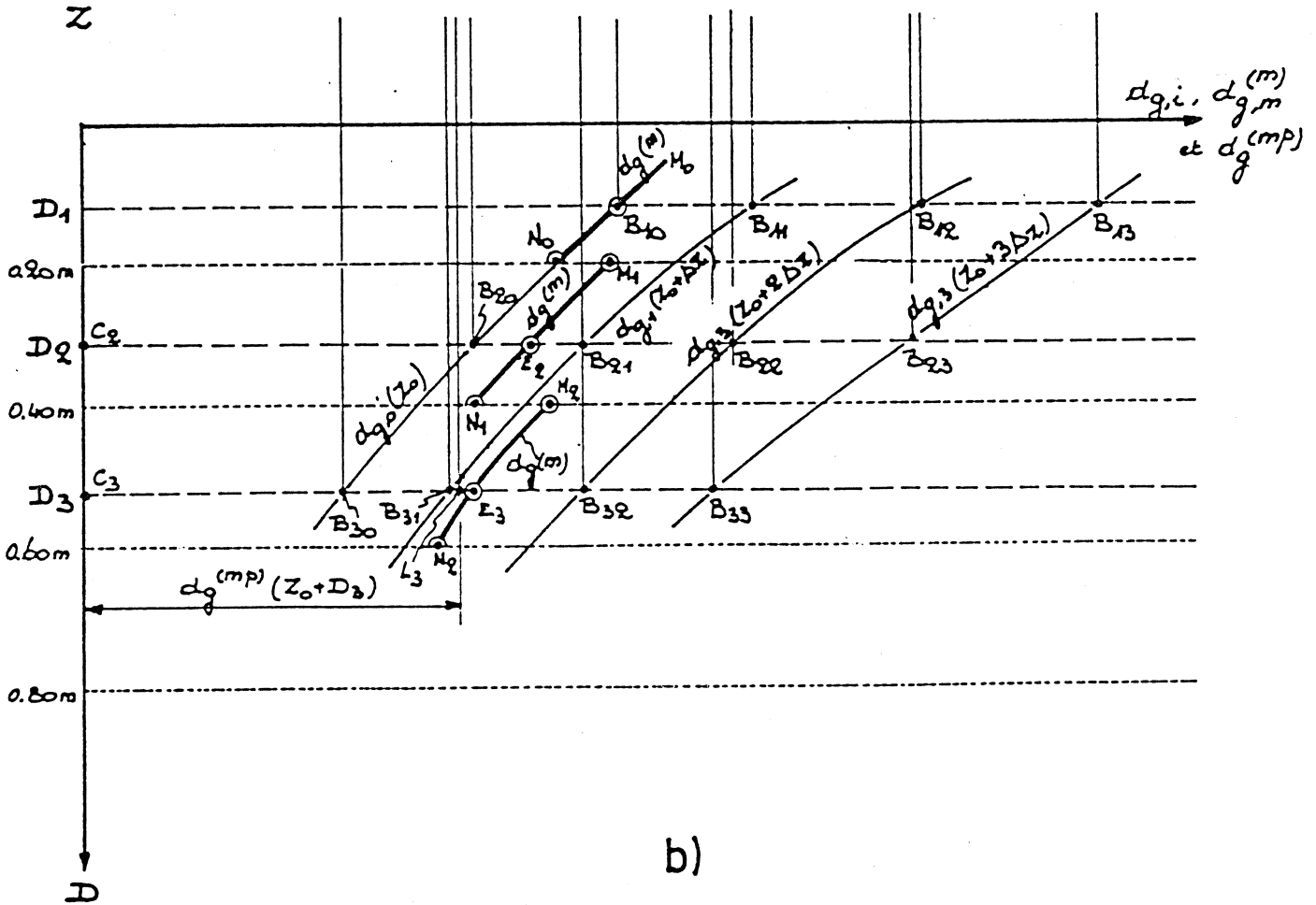


a — Homogénéisation par pas de 2cm
 + b — Homogénéisation proportionnelle

Fig A21/3



a)

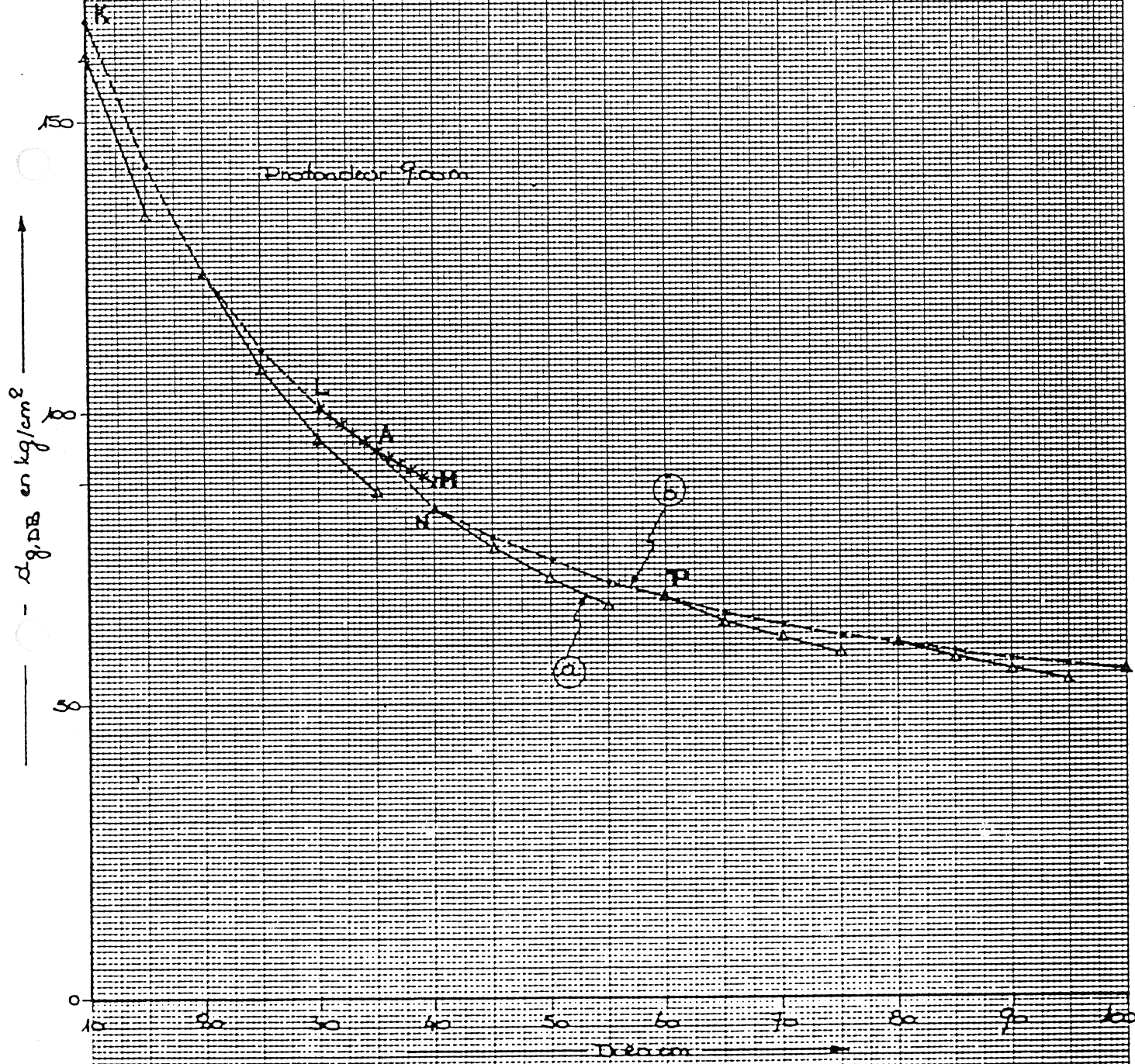


b)

Fig. A 21 / 4

KALLO

Essai de pénétration I



a — Homogénéisation par poids de laum
b — Homogénéisation proportionnelle

Fig. A21/5

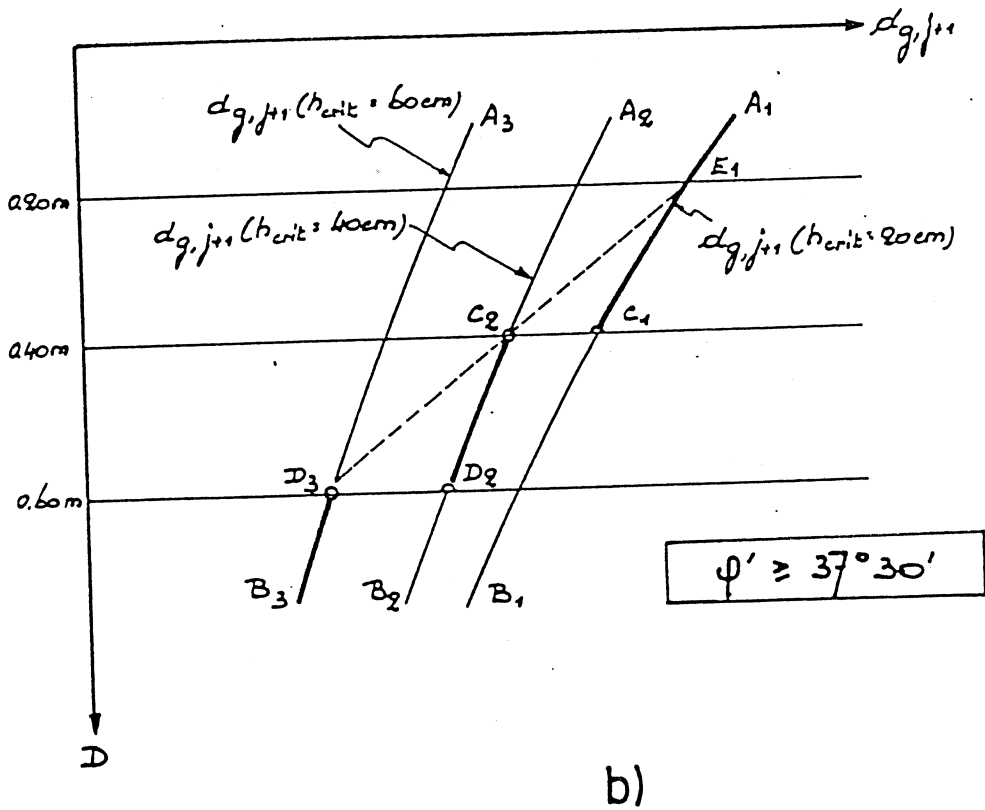
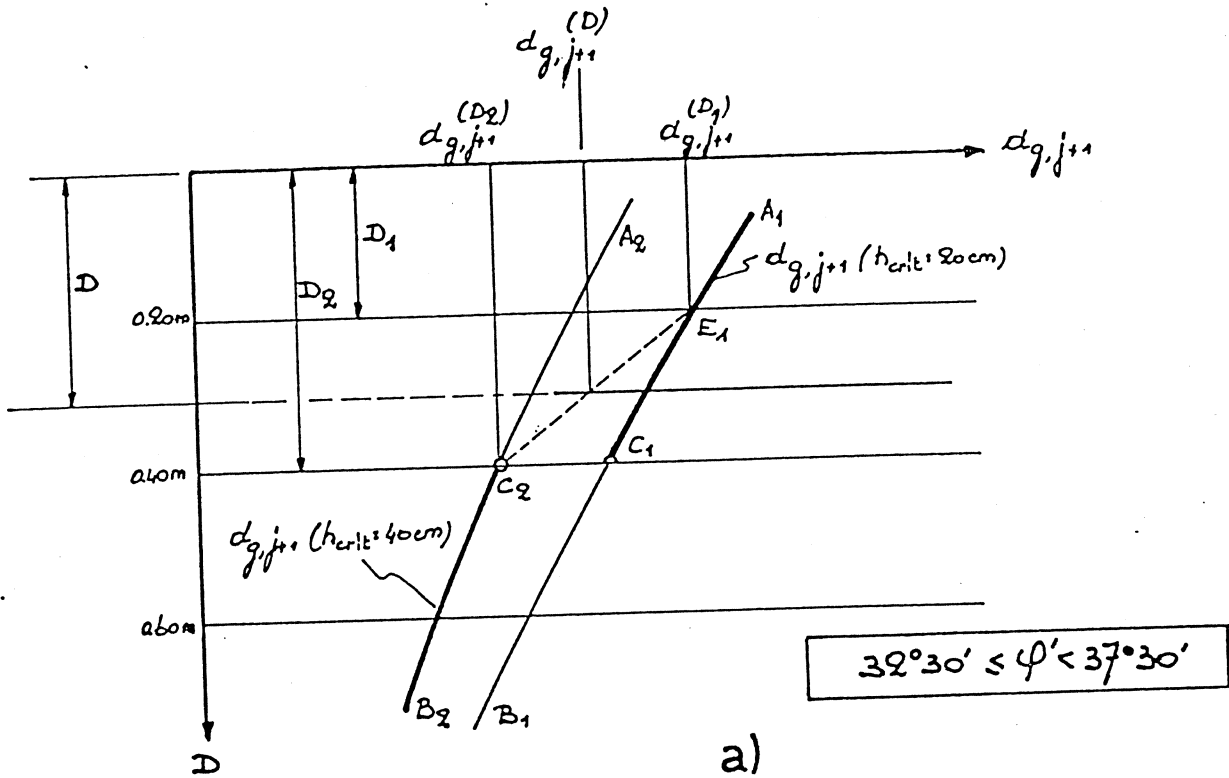
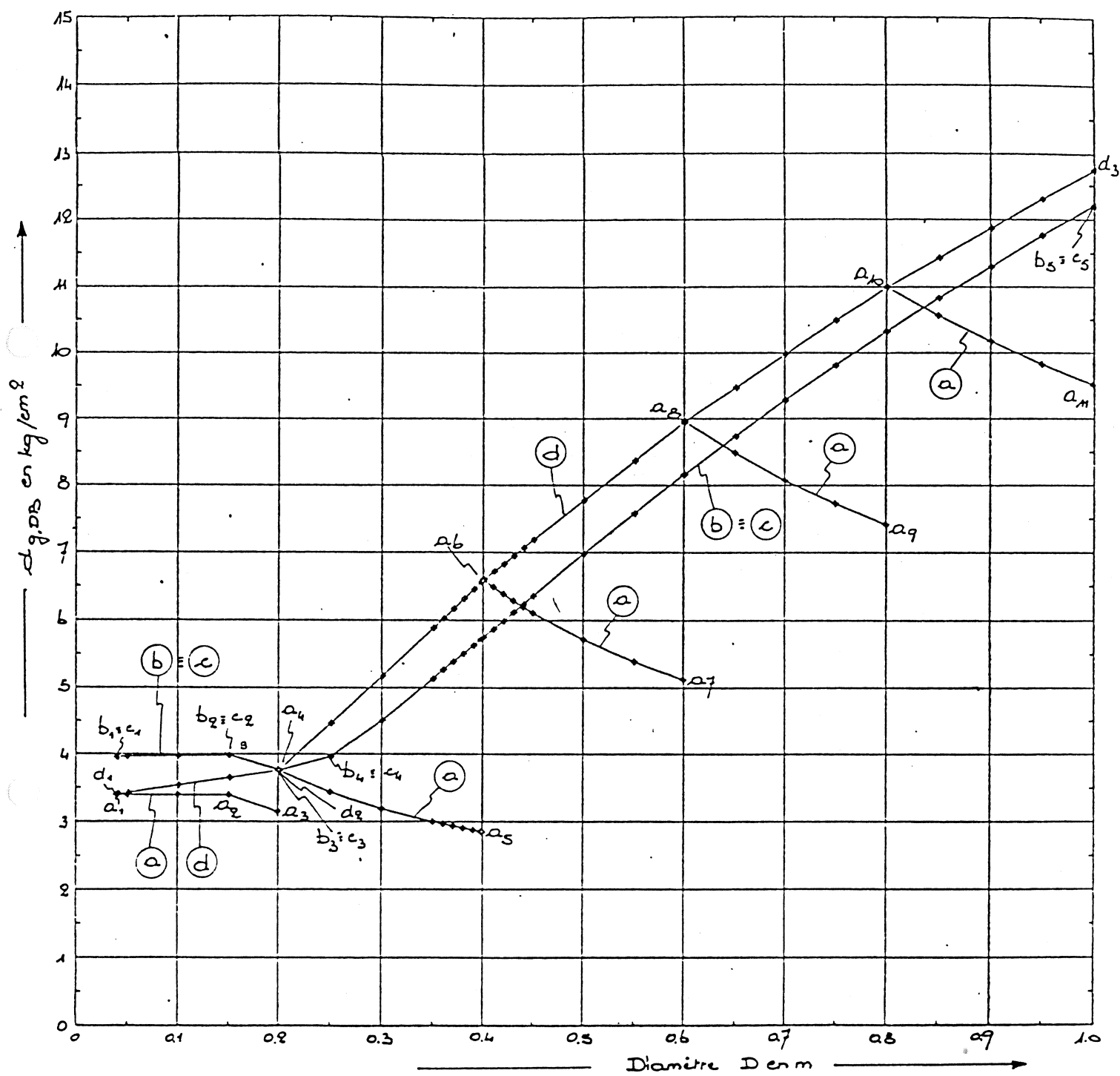


Fig. A 21 / 6

KALLO

Essai de pénétration I

PROFONDEUR DE 7.80 m



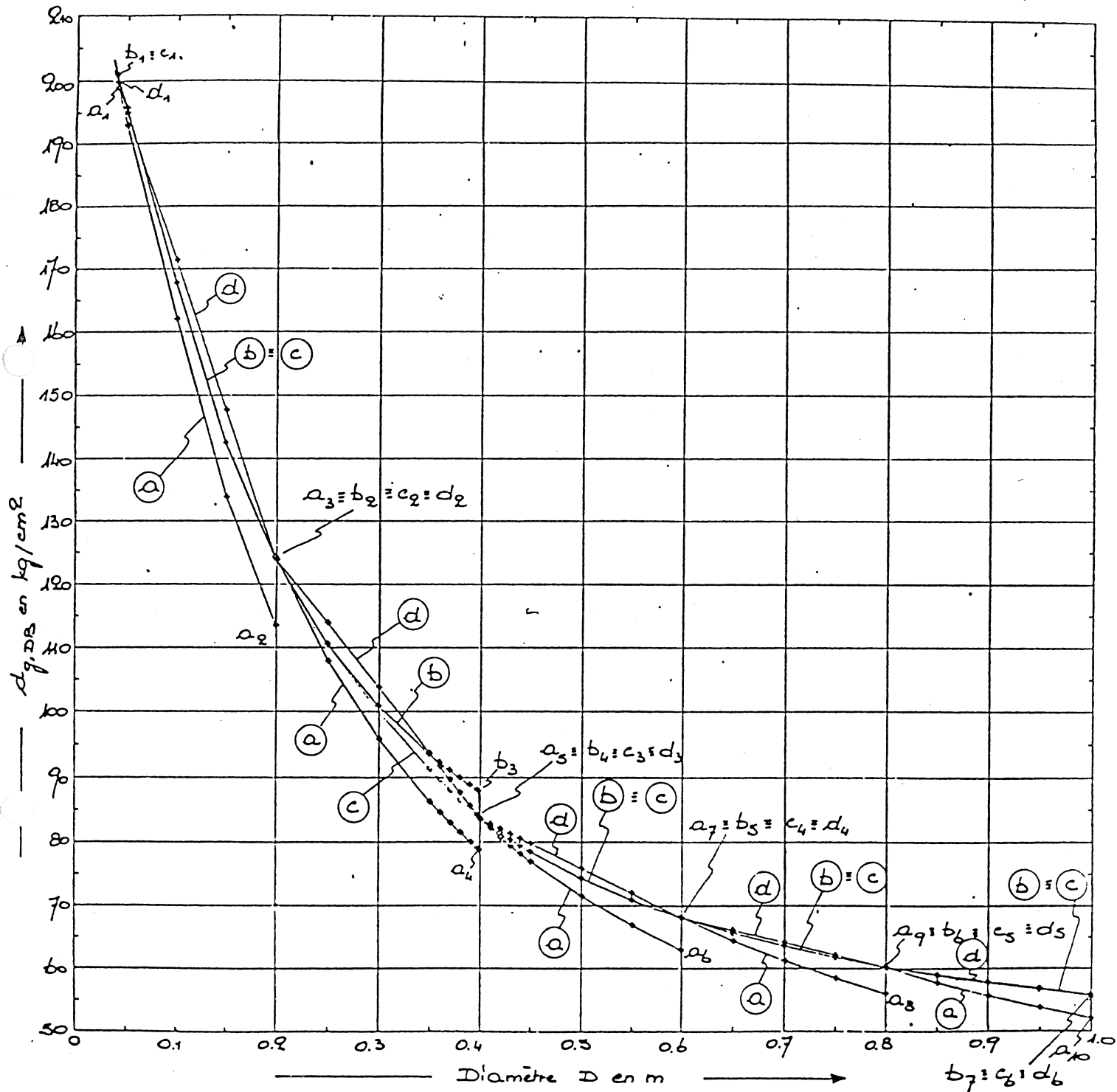
- (a) (a₁ à a₁₀) - Méthode initiale (homogénéisation par pas)
- (b) (b₁ à b₅) - Méthode adoptée tenant compte de l'homogénéisation proportionnelle
- (c) (c₁ à c₅) - Méthode adoptée tenant compte de l'homogénéisation proport. et de la valeur élevée de φ'
- (d) (d₁ à d₃) - Méthode proposée

Fig. A21/7

KALLO

Essai de pénétration I

PROFONDEUR DE 9 m



- (a) (a₁ à a₁₀) - Méthode initiale (homogénéisation par pas)
- (b) (b₁ à b₇) - Méthode adoptée tenant compte de l'homogénéisation proportionnelle
- (c) (c₁ à c₆) - Méthode adoptée tenant compte de l'homogénéisation proport. et de la valeur élevée de ρ'
- (d) (d₁ à d₆) - Méthode proposée

Fig. A21/8