

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



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

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

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

C_{vr} K_h , φ_{cu} Déterminés par Pénétration Statique

C_{vr} K_h , φ_{cu} Carried out with Cone Penetrometer Test

L. PAREZ Ing. E.C.P., Sol-Essais, Colombes, France
M. BACHELIER Ing. E.T.P., Prof., Ecole Beaux Arts, Sol-Essais, Colombes, France

RESUME - Le fonçage du pénétromètre statique crée une variation Δu de pression interstitielle par rapport aux contraintes initiales hydrostatiques. La pénétration est arrêtée à une profondeur donnée. Pendant l'arrêt, la variation de pression interstitielle est enregistrée en fonction du temps ($\Delta u = f(t)$) jusqu'au retour à l'équilibre hydrostatique. L'exploitation de la courbe $\Delta u = f(t)$ permet alors le calcul des paramètres C_{vr} , K_h , φ_{cu} .

Ayant introduit, dès 1976, dans l'essai de pénétration statique la mesure de la pression interstitielle induite par le fonçage et donné les équations de correction des valeurs brutes, nous étendons ici le champ d'application par la détermination de trois paramètres fondamentaux, liés aux processus de consolidation :

- le coefficient de consolidation radiale C_{vr}
- le coefficient de perméabilité horizontale K_h
- l'angle de frottement interne apparent φ_{cu} .

Ces déterminations ont été comparées aux valeurs correspondantes déduites d'essais de laboratoire sur échantillons intacts provenant des couches testées.

THEORIE DE LA MESURE :

Au cours du fonçage, le pénétromètre est arrêté à une profondeur donnée. La surpression ou la dépression créée par rapport à la pression hydrostatique initiale ou piézométrique, va évoluer pour tendre à s'annuler au bout d'un temps plus ou moins long. A cet égard, le pénétromètre, convenablement équipé va se comporter comme un drain vertical ou comme une source selon que l'écoulement de l'eau interstitielle s'effectuera d'une manière centripète ou centrifuge sous forme d'un flux quasi cylindrique sur la hauteur du manchon perméable (figure 1).

Nous référant aux études concernant le poinçonnement des sols au cours de la pénétration statique, nous avons été amenés à considérer l'évolution de la surpression (ou de la dépression) Δu à l'intérieur du volume plastique dont il est possible de fixer la frontière en application de ces théories, maintenant bien vérifiées par l'expérience.

Les auteurs de ces études ont, en effet, assimilé les courbes de glissement à des spirales logarithmiques dont ils ont donné l'équation en fonction de l'angle de frottement φ_{cu} du sol et du diamètre du corps de pointe, la courbe de plus grand glissement correspondant à la frontière élasto-plastique.

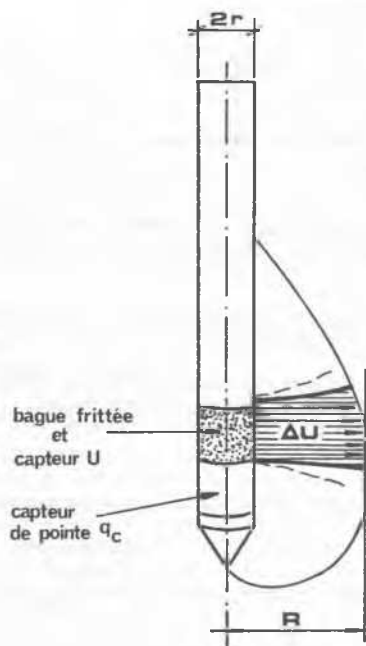


fig. 1

Pour les valeurs de φ_{cu} comprises entre 0 et 20° les équations de L'HERMINIER, PEGEMANN et PIAREZ donnent toutes les trois une valeur voisine de $4r$, pour le rayon du volume plastique.

On peut donc considérer que pour une gamme étendue d'argiles, le volume plastique varie peu et a pour rayon $R = 4r$.

Une fois connues les conditions aux limites, il est aisé de traiter le problème, les équations qui régissent l'écoulement de l'eau dans le sol étant indépendantes du sens de parcours.

Sur la hauteur du manchon perméable, de rayon r l'eau est en mouvement à l'intérieur du volume plastique de rayon R . En fonction du rapport R/r , la théorie du "drain en sable" fournit la valeur du coefficient T_r , correspondant à un taux de consolidation U_r (ou de dissipation de la surpression Δu) et l'on écrit, selon cette théorie :

$$C_{vr} = \frac{4R^2 \cdot T_r}{t_r}$$

où t_r est le temps correspondant à U_r .

La théorie donne pour $R/r = 4$ et $U_r = 50\%$ le facteur temps $T_r = 0,03$.

L'enregistrement de la courbe $\Delta u = f(t)$ fournit alors la base de la détermination puisque l'on peut en déduire le temps correspondant à un taux de consolidation déterminé, par exemple $U_r = 50\%$.

Connaissant le module oedométrique E_{oed} , le coefficient de perméabilité horizontale K_h peut être immédiatement déduit par la relation

$$C_{vr} = \frac{E_{oed} \cdot K_h}{\gamma_e}$$

où γ_e est la densité de l'eau.

APPAREILLAGE

L'appareil utilisé est le pénétromètre statique PAREZ, modifié pour mesure de la pression interstitielle u .

Le corps de pointe de diamètre $2r = 4,5$ cm comporte, de bas en haut :

- la pointe conique transmettant la réaction du sol à un premier capteur électrique,
- une bague poreuse en métal fritté pour prise de pression u ,

• un deuxième capteur recevant la pression u . Ce capteur ultra-sensible possède une membrane en silicium dont la déformabilité est de 10^{-3} mm³/bar.

L'utilisation normale se fait jusqu'à 6 bars, avec maximum de 10 bars.

Les fils électriques, convenablement gainés, passent à l'intérieur des tiges creuses.

La pression de pointe σ_c et les pressions d'eau u sont transmises électriquement à un ensemble de deux amplificateurs et deux voltmètres numériques.

Les lectures visuelles sont relevées tous les 20 cm d'enfoncement avec un signal tous les mètres pour contrôle de profondeur.

Simultanément, les mêmes efforts sont retransmis à un enregistreur électrique à deux pistes σ_c et u , situé en sortie d'amplificateur.

MONTAGE ET MISE EN PLACE

Le montage sur l'élément de pointe de la bague frittée préalablement saturée en eau désaérée se fait dans un récipient rempli d'eau. L'élément de pointe est ensuite entouré d'un sac étanche rempli d'eau, cerclé autour du corps de pointe, ce qui permet l'installation à l'extrémité du train de tiges sans désaturation.

RESULTATS COMPARATIFS

- 1) Coefficients de consolidation radiale C_{vr} et perméabilité horizontale K_h .

Le processus est représenté sur la figure 2.

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Site	Nature	Profondeur	Mesures				Paramètres		Modules oedométriques E_{oed} (bars)
			$u_{max.}$ (ou $u_{min.}$) bars	u_0 bars	u_{50} bars	t_{50} min. sec.	C_{vr} cm ² /sec.	K_h cm/sec.	
I	Silt argileux	26,27 m	5,05	2,40	3,725	7 min. 32 sec.	$2,15 \cdot 10^{-2}$	$7,4 \cdot 10^{-7}$	29
	" "	28,01 m	5,00	2,60	3,80	12 min.	$1,35 \cdot 10^{-2}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$	32
II	Silt argileux	6,24 m	1,00	0,50	0,75	15 min.	$1,08 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-7}$	21
	Silt sableux	23,00 m	1,10	2,10	1,60	78 sec.	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	10
	" "	31,00 m	1,00	2,70	1,85	70 sec.	$0,7 \cdot 10^{-5}$	$0,7 \cdot 10^{-5}$	19

$u_{max.}$ ($\Delta u > 0$) $u_{min.}$ ($\Delta u < 0$) : pression interstitielle, immédiatement après l'arrêt du fonçage,

u_0 : pression piézométrique initiale, au repos

u_{50} : pression interstitielle à 50 % de dissipation

t_{50} : temps correspondant à 50 % de dissipation.

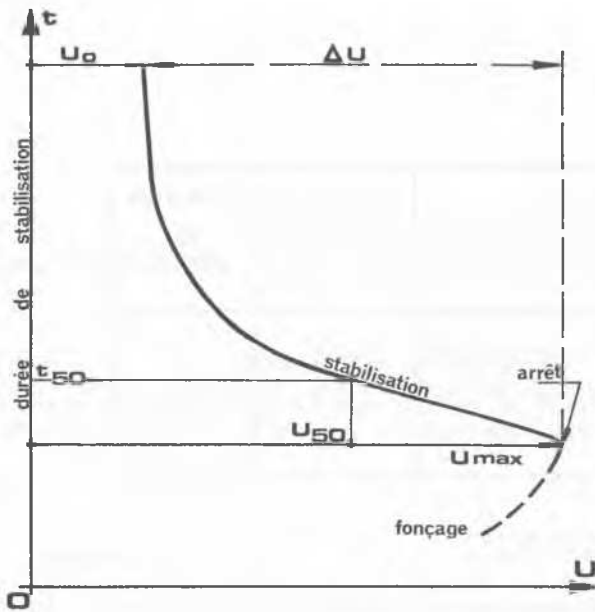


fig. 2

CORRELATION

Les essais cités ici se rapportent à deux sites I et II. Les terrains sont constitués par des silts argileux ou sableux.

Les valeurs moyennes trouvées sur les silts argileux du site II avec oedomètre à drain central sont :

$$C_{vr} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{sec.}$$

et pour un module $E_{oed.} = 15 \text{ bars}$,
 $K_h = 10^{-6} \text{ cm}/\text{sec.}$

Sur les deux sites, des études "d'ajustement" des paramètres" ont été réalisées à partir des tassements observés en fonction du temps, sur aire expérimentale traitée avec réseau maillé de drains en sable. Les valeurs moyennes trouvées ont été :

pour le site I : $C_{vr} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{sec.}$

pour le site II : $C_{vr} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{sec.}$

2) Recherche de $\tan \varphi_{cu}$

Au cours des arrêts de fonçage, en stabilisation, nous avons constaté, sur les graphiques d'enregistrement, en même temps qu'une diminution continue de la pression interstitielle u , une augmentation continue de la pression de pointe q_c (figure 3).

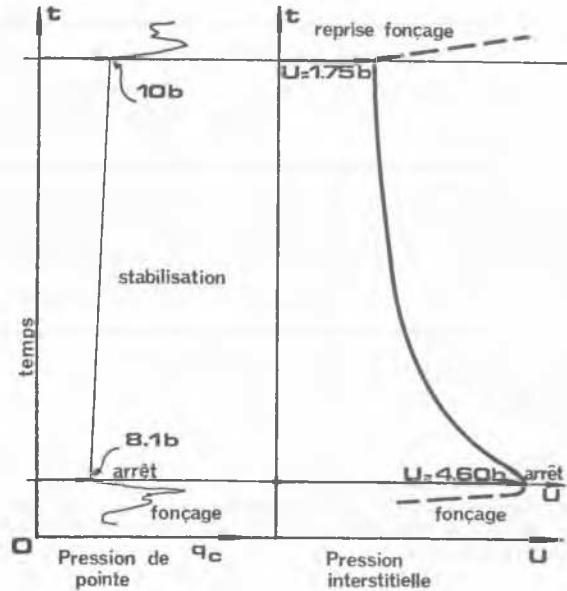


fig. 3

Nous avons donc ici une preuve expérimentale de la correction théorique $\Delta \sigma_c$ donnée au Congrès européen de Vienne.

Nous la rappelons : $\Delta \sigma_c = \Delta u (N_{\sigma} - 1)$

Ici, le pénétromètre étant à l'arrêt après fonçage continu, nous utilisons pour la fonction de poinçonnement N_{σ} l'équation de FROELICH notée $N_{\sigma F}$ considérée comme définissant la frontière entre l'état des contraintes élastiques de Poussinesq et l'état d'équilibre limite plastique pour cette phase dite de stabilisation,

soit :

$$N_{\sigma F} = \frac{\pi}{\cotan \varphi - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)} + 1$$

RESULTATS COMPARATIFS

Le processus est représenté sur la figure 3.

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Nature du sol	Profondeur en m.	M e s u r e s		Fonction N_{qF}	Paramètre φ_{cu}
		q_c varie de	en bars à		
Silt argileux	28,01	8,75	→ 10,00	3,75 → 2,85	2,38
" "	32,00	8,125	→ 10,00	4,60 → 1,75	1,66
" "	33,60	10,63	→ 13,13	4,50 → 2,50	2,25

Pour N_{qF} moyen = 2,097 $\varphi_{cu} = 13^\circ$
($\tan \varphi_{cu} = 0,23$).

CORRELATION

Ces résultats sont en concordance avec la valeur moyenne trouvée par cisaillement triaxial au laboratoire.

CONCLUSION

Le pénétromètre statique avec cellule de mesure de la pression interstitielle induite par le fonçage permet, dans les sols saturés, de donner, à différentes profondeurs, en plus de la courbe de résistance de pointe, les paramètres C_v et K_h (coefficient de consolidation radiale et perméabilité). Ces paramètres sont utilisés en particulier dans les calculs de consolidation, les projets de drains verticaux et les prévisions de débit.

Ces essais peuvent être multipliés sur un même chantier afin d'augmenter la précision de la connaissance du site sans entraîner de dépense excessive.

Le pénétromètre statique est actuellement un des rares appareils d'essai rapide in situ capable de donner des résistances effectives par adjonction d'une cellule de mesure de pression interstitielle.

REFERENCES

BARRON - Consolidation of fine-grained soils by drain wells - Trans. Am. Soc. CF 113 t. 18.54

BFGFMANN (1963) - The use of the static soil penetrometer in the Holand. New Zeland Engineering, pp. 41-49

BIAREZ (1962) - Contribution à l'étude des propriétés mécaniques des sols et des matériaux pulvérulents. Thèse de Doctorat ès-Sciences - Université de Grenoble.

CHRISTIE (1959) - Design and construction of vertical drains to accelerate the consolidation of soils - Civil Engineering - LONDON

FROEHLICH O.K. (1934) - Druckverteilung im Baugrunde - J. Springer, BERLIN.

L'HERMINIER R. (1953) - Remarques sur le poinçonnement continu des sables et graviers. Journées de la Mécanique des Sols - I.T.B.T.P. Mars-Avril 1953

PARIZ L. (1974) - Pénétromètre statique - de l'importance du frottement latéral associé à la résistance de pointe - Symposium européen sur les essais de pénétration - STOCKHOLM Juin 1974

PARIZ L., BACHELIER M., SECHET P., (1976) - Pression interstitielle développée au fonçage des pénétromètres - 6ème Conférence européenne de mécanique des sols - WIEN.

English translation will be obtained by :

SOL-ESSAIS, 49 Rue des Sazières
92700 COLOMBES - France.