

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 88 (1962)
Heft: 11

Artikel: 5eme Congrès international de mécanique des sols et des travaux de fondation: Paris, juillet 1961: méthodes de mesure des caractéristiques des sols en place et prélèvements d'échantillons - Section 2

Autor: Descoeurdes, J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-771841>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (S.V.I.A.)
de la Section genevoise de la S.I.A.
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique
de l'Université de Lausanne)
et des Groupes romands des anciens élèves de l'E.P.F. (Ecole
polytechnique fédérale de Zurich)

COMITÉ DE PATRONAGE

Président: † J. Calame, ing. à Genève
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève

Membres:

Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.
Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Grosgrain, arch.; E. Martin, arch.
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; R. Gaye, ing.
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.;
M. Renaud, ing.; J.-P. Vouga, arch.

CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »

Président: D. Bonnard, ing.
Membres: M. Bridal; J. Favre, arch.; † R. Neeser, ing.; A. Robert,
ing.; J.-P. Stucky, ing.

Adresse: Avenue de la Gare 10, Lausanne

RÉDACTION

Vacat
Rédaction et Editions de la S. A. du « Bulletin technique »
Tirés à part, renseignements
Avenue de Cour 27, Lausanne

ABONNEMENTS

1 an	Suisse	Fr. 28.—	Etranger	Fr. 32.—
Sociétaires	»	» 23.—	»	» 28.—
Prix du numéro	»	» 1.60		

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »,
N° 1187 75, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, changements
d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29,
Lausanne

ANNONCES

Tarif des annonces:

1/1 page	Fr. 320.—
1/2 »	» 165.—
1/4 »	» 88.—
1/8 »	» 42.50

Adresse: Annonces Suisses S. A.
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. Lausanne et succurselles

**SOMMAIRE**

5^{me} Congrès international de mécanique des sols et des travaux de fondation, Paris, juillet 1961:
Méthodes de mesure des caractéristiques des sols en place et prélèvements d'échantillons - Section 2, par J. Descoeurdes, ingénieur.
Barrages en terre, talus et tranchées ouvertes - Section 8, par J. C. Ott, ingénieur.
Les congrès. — Divers. — Documentation générale. — Informations diverses.

5^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DES TRAVAUX DE FONDATION ¹ (Suite) ²

PARIS, JUILLET 1961

MÉTHODES DE MESURE DES CARACTÉRISTIQUES DES SOLS EN PLACE ET PRÉLÈVEMENTS D'ÉCHANTILLONS - SECTION 2

par J. DESCOEURDES, ingénieur.

Dans cette section, des ingénieurs de treize pays différents présentèrent vingt-deux communications.

On y trouve la description de nombreux appareils: six appareils pour le prélèvement des échantillons dans des terrains allant de l'argile aux alluvions à gros galets, cinq appareils de la famille des pénétromètres et sept appareils divers, inclinomètres, iskymètre, sondes à neutrons et à rayons γ . La description de ces appareils est souvent accompagnée de la relation d'essais exécutés avec eux soit sur des sols en place, soit en laboratoire.

En outre douze communications relatent des mesures diverses exécutées sur des sols naturellement en place ou mis en place artificiellement en laboratoire. Souvent les auteurs comparent les mesures exécutées avec des appareils de divers types ou les résultats obtenus par mesures dans le terrain en place et par mesures sur

échantillons en laboratoire; ils donnent parfois une analyse théorique ou une interprétation mathématique des résultats obtenus.

Les résumés, souvent très brefs de ces communications ont été ordonnés selon le sujet traité et mentionnent le nom et la nationalité de l'auteur, ainsi que le numéro d'ordre de la communication dans les comptes rendus du Congrès publiés chez Dunod.

¹ La Société suisse de Mécanique des sols et des Travaux de fondation a organisé en automne 1961, à Bienna, une journée d'étude au cours de laquelle divers conférenciers donnèrent un compte rendu des travaux des sections du congrès de Paris. Nous donnons au présent numéro les textes des exposés en langue française. Les autres exposés, de langue allemande, ont été ou seront publiés par ailleurs. Nos lecteurs, pour plus amples informations, pourront se reporter aux volumes publiés par Dunod, Paris, 1961, et donnant l'ensemble des communications du congrès. Les figures données ici sont tirées de ces volumes. (Réf.)

² Voir Bulletin technique du 19 mai 1962.

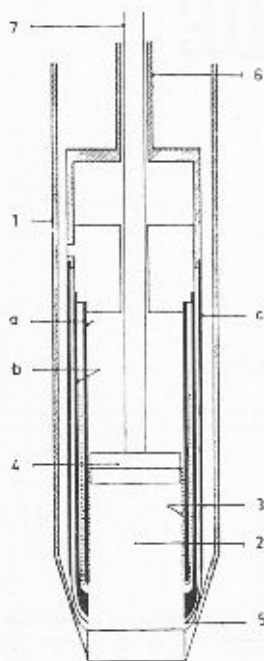


Fig. 1. — Echantillonneur avec gaine de matière plastique (indiquée en pointillé).



Fig. 2. Carottier à trousse dépassante.

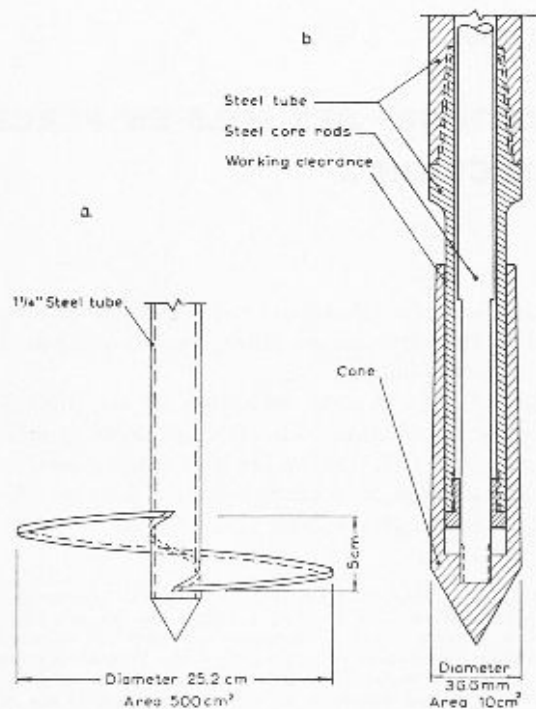


Fig. 3. a. Disque hélicoïdal pour essai de charge. b. Pénétromètre hollandais.

I. Appareils pour le prélèvement d'échantillons de terrain

Begemann, Hollande, (2/2) décrit deux appareils permettant de prélever des échantillons dans des terrains à grains fins cohérents ou non. Le premier de ces appareils fournit des échantillons de 3 cm de diamètre et de 10 à 20 m de longueur. Le sabot de l'appareil a un diamètre intérieur sensiblement plus petit que celui du tube qui recueille l'échantillon, l'espace annulaire ainsi créé entre ce tube et l'échantillon est maintenu rempli d'une boue bentonitique qui soutient l'échantillon et diminue les frottements; un obturateur à ressorts, déclenché en fin d'opération par un système à baïonnette, maintient l'échantillon dans le tube.

Le deuxième appareil décrit par Begemann permet de prélever des échantillons de 6,6 cm de diamètre et de 1 m de longueur. La figure 1 fait apparaître le tube de revêtement du forage qui porte un sabot découpant l'échantillon au diamètre voulu et à l'intérieur de ce tube l'appareil proprement dit. Celui-ci est à triple paroi et comporte en outre un piston auquel est fixée l'extrémité d'une gaine de matière plastique logée entre le tube intérieur et le tube médian de l'appareil. Lors du fonçage de l'appareil le piston remonte, entraînant la gaine qui vient envelopper l'échantillon et supprime les frottements à sa surface. Le tube extérieur porte un obturateur à ressorts qui permet en fin d'opération de couper l'échantillon et de le maintenir dans le tube.

Friis, Norvège, (2/6) décrit un équipement permettant d'améliorer les prélèvements dans les sables fins au moyen des appareils conventionnels à paroi mince et à piston en utilisant, outre la chèvre habituelle, un mât vertical en métal léger de 12 m de hauteur qui permet, sans dévisser les doubles-tiges, de relever l'appareil depuis une profondeur maximum de 15 m en une seule opération continue.

Hong, Etats-Unis, (2/8) décrit un échantillonneur à paroi mince et à piston dont la particularité réside dans le fait que, grâce à un dispositif spécial, le piston peut être rendu solidaire du sabot du tube de forage, ce qui permet de manœuvrer l'appareil au moyen d'une tige simple au lieu d'une tige double.

Dupeuble, France, (2/4) décrit un appareil permettant de prélever des échantillons de 430 mm de diamètre et de 1,60 m de longueur dans des terrains alluvionnaires ou morainiques pouvant contenir de gros éléments. L'appareil est fixé par un dispositif spécial au bas du tubage d'une autofonceuse Loire-Normandie, le tout s'enfonçant dans le terrain sous l'effet des vibrations produites par quatre balourds d'une puissance totale de 80 CV.

Cambefort, France, (2/3) décrit un double-carottier dont le tube intérieur dépasse la couronne de forage et fait fonction d'échantillonneur. Des carottiers de ce type ont été construits pour des échantillons de 75 et de 288 mm de diamètre, ils ont donné de bons résultats dans des sables, des marnes, des schistes demi-durs et de la craie très fracturée. L'expérience ayant montré que la longueur de dépassement doit être adaptée à la consistance du terrain, le tube intérieur a été suspendu

à la tête du carottier par l'intermédiaire d'un ressort de pression qui règle automatiquement le dépassement du tube intérieur en fonction de la dureté du terrain (voir fig. 2).

II. Appareils de la famille des pénétromètres

Kummeneje et Eide, Norvège, (2/12) rappellent à l'occasion d'une étude sur des sables fins les caractéristiques du pénétromètre du type hollandais (fig. 3). Cet appareil permet d'enfoncer alternativement la pointe de dimensions normalisées (10 cm² — angle de 60°) et le manteau. L'effort d'enfoncement de la pointe est mesuré par l'intermédiaire d'une tige intérieure donc avec élimination du frottement latéral entre tige et terrain. Contrairement au pénétromètre normal, l'enfoncement se fait par pression et non par battage. La figure 3 montre également un disque hélicoïdal utilisé pour les essais de charge sur terrain en place.

Gamski, Belgique, (2/7) décrit le pénétromètre G. C. (fig. 4). Cet appareil se distingue par le fait que la résistance qu'offre le sol à la pénétration d'un cône normal est équilibrée par la résistance qu'offre à l'arrachement une vrille ancrée dans le sol et dans l'axe de laquelle coulisser le pénétromètre. L'effort d'enfoncement est mesuré directement à l'aide d'un anneau dynamométrique. La vrille fournit en outre un échantillonnage du terrain. L'appareil est léger, il se manœuvre à la main et peut être utilisé dans un espace réduit aussi bien comme surface que comme hauteur.

Kallstenius, Suède, (2/9) décrit un pénétromètre perfectionné par l'adjonction d'un dispositif d'enregistrement graphique et continu de l'effort d'enfoncement. Les tiges sont maintenues en rotation lente et seule la pointe ne tourne pas, ce qui permet au moyen d'un dispositif ingénieux d'éliminer dans le graphique le frottement latéral, qui peut être mesuré séparément. L'enregistrement continu permet de repérer immédiatement et facilement les terrains de mêmes caractéristiques et de réduire par conséquent le nombre des sondages et des prélèvements d'échantillons nécessaires. La concordance avec des essais au pénétromètre statique du type habituel est bonne.

Shockley, Cunny et Strohm, Etats-Unis, (2/16) décrivent un pénétromètre rotatif utilisable avec les sondeuses à avancement hydraulique généralement utilisées aux Etats-Unis pour les travaux de sondage (fig. 5). Comme dans le pénétromètre de Kallstenius, seule la pointe du type hollandais ne tourne pas; elle est reliée au moyen des tiges intérieures à un dynamomètre s'appuyant sur un cadre fixe solidaire de la sondeuse. Les tiges extérieures sont entraînées par la sondeuse. Elles portent une tarière au moyen de laquelle le sondage se poursuit avec circulation de boue. Les auteurs mentionnent des mesures réalisées sur les rives du Mississippi qui par endroit sont menacées de glissement par liquéfaction de bancs de sable peu consolidé. Dans ces sables le prélèvement d'échantillons permettant de déterminer la teneur en eau exacte est presque impossible car le matériau subit toujours une compression lors du prélèvement. Les essais au pénétromètre rotatif ont permis au contraire de délimiter assez bien les zones dangereuses.

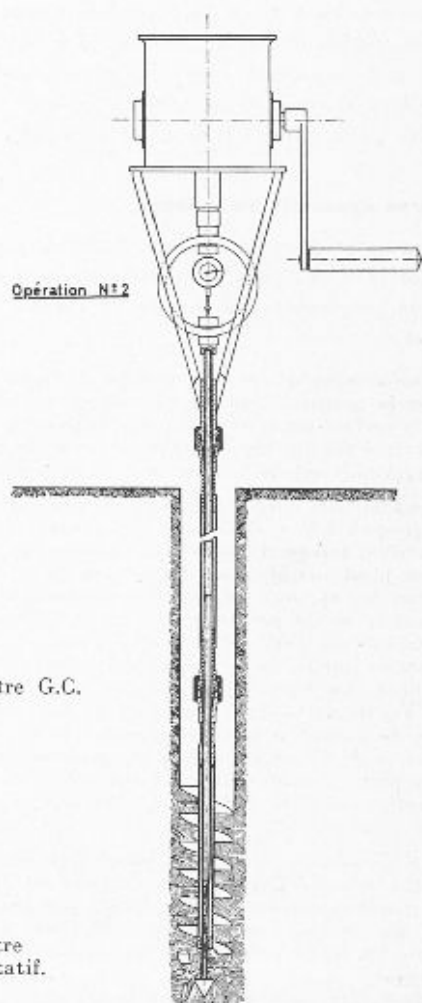
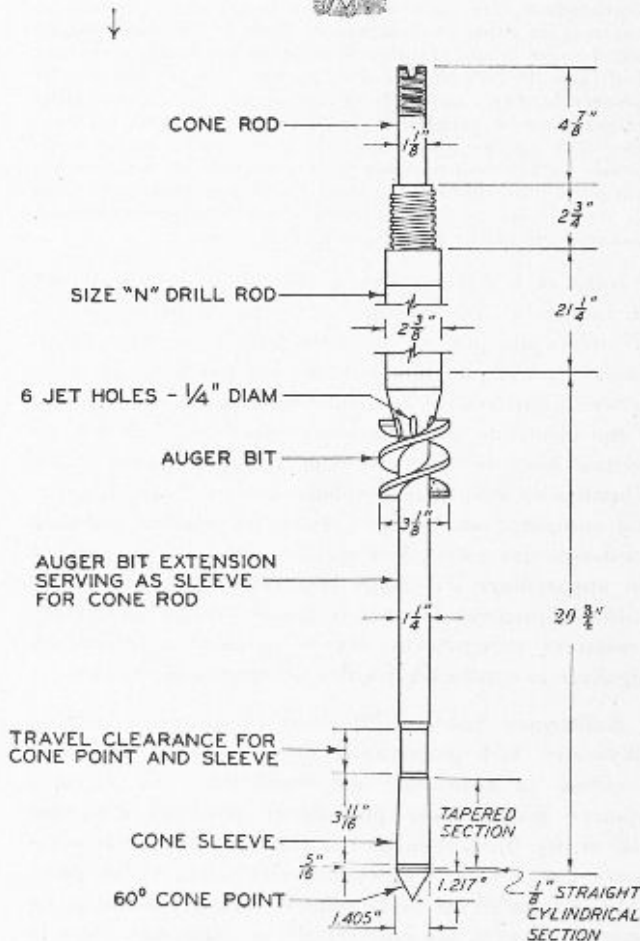


Fig. 4.
Pénétromètre G.C.

Fig. 5.
Pénétromètre
conique rotatif.



Signalons enfin à titre de rappel le « picu modèle » décrit par *Haefeli et Bucher*, Suisse, (3 b/11). Ce pénétromètre a une section cinq fois plus grande que le pénétromètre normal et sa surface latérale n'est pas négligeable (voir aussi S.B.Z. 22 et 29.6.61).

III. Autres appareils de mesure

Kallstenius et Bergau, Suède, (2/10) décrivent trois inclinomètres développés pour mesurer la déformation de forages traversant des masses de terrain en glissement lent.

— *L'inclinomètre à tige SGI* mesure de façon purement mécanique la position d'une tige rectiligne centrée dans le forage à la surface du terrain et à son extrémité inférieure. Son utilisation est limitée à quelques mètres de profondeur et son exactitude est de l'ordre de $\pm 0,35$ mm/m.

— *L'inclinomètre SGI à gages* (strain gauges) permet de mesurer jusqu'à une centaine de mètres de profondeur la déviation d'un forage de petit diamètre revêtu d'un tube de matière plastique épousant les déformations du terrain. Le manteau de l'appareil est constitué par un tube maintenu centré dans le forage par trois ressorts. A l'intérieur de ce tube se trouve un pendule suspendu à un ressort à lame plate et mince sur les faces duquel sont collées deux gages. Les raccords des tiges de suspension de l'appareil sont flexibles. En faisant faire à l'appareil un tour complet sur lui-même, le ressort à lame supportant le pendule subit deux maxima de déformation, leur enregistrement au moyen des gages permet de déterminer l'inclinaison de l'appareil et la direction de cette inclinaison avec une exactitude de l'ordre de $\pm 0,02^\circ$.

— *L'inclinomètre à pendule de contact SGI*. De même que pour l'inclinomètre à gages, le manteau de cet appareil est un tube maintenu centré dans le forage par trois ressorts. Dans ce tube est suspendu un pendule porté par un axe horizontal. Un levier solidaire de ce pendule provoque un contact électrique avec une vis micrométrique dont la position peut être réglée à partir de la surface du terrain au moyen d'un câble de commande. Tout le dispositif baigie dans l'huile, ce qui stabilise le pendule et protège le contact électrique de l'oxydation. Cet appareil ne permet pas de mesurer la direction de la déviation qui est généralement connue dans les problèmes de glissement. En principe l'appareil est mis en place une fois pour toutes au point de mesure et les déformations sont mesurées en fonction du temps en provoquant le contact électrique au moyen de la vis micrométrique dont la position est repérée en surface. L'exactitude est de l'ordre de 0,01°.

Kühn et Williams, Afrique du Sud, (2/11) décrivent un indicateur automatique développé pour mesurer à la surface des piles de ponts la profondeur des affouillements provoqués momentanément par les crues d'un fleuve. L'appareil est basé sur le fait que la conductivité d'une électrode n'est pas la même lorsqu'elle est en contact avec de l'eau, des dépôts alluvionnaires et des alluvions en suspension turbulente dans l'eau. L'appareil comporte une série d'électrodes placées les unes au-dessus des autres à la surface de la pile du pont et un appareillage électrique très raffiné se déclenchant automatiquement lorsque le fleuve atteint un certain niveau et enregistrant dès ce moment à intervalles réguliers la conductibilité des différentes électrodes.

Kallstenius, Suède, (2/9) décrit un appareil dénommé iskymètre SGI permettant de déterminer de façon continue la résistance au cisaillement de terrains tendres jusqu'à une profondeur pouvant atteindre 100 m (fig. 6). L'élément résistant de l'iskymètre comporte deux bras articulés comme les baleines d'un parapluie, l'appareil est foncé dans le terrain au moyen de tiges de forages, ses bras repliés ne dépassent guère la

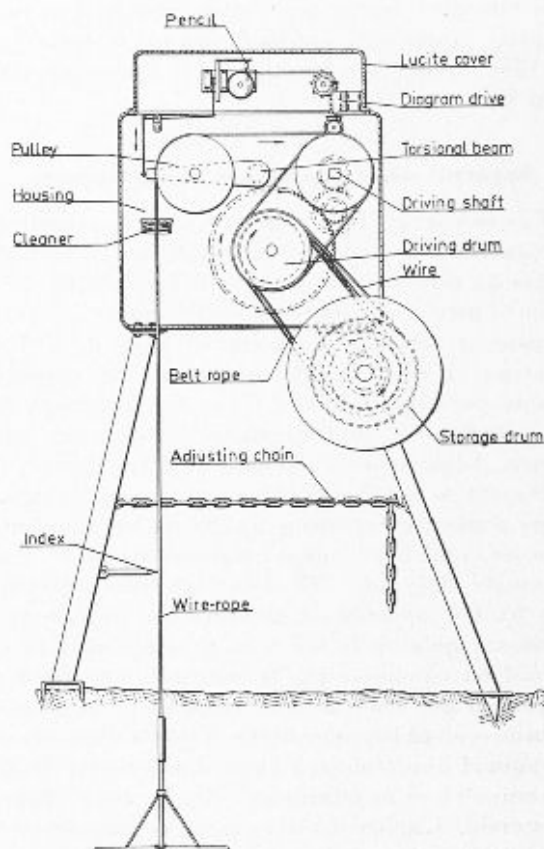


Fig. 6. — Iskymètre SGI.

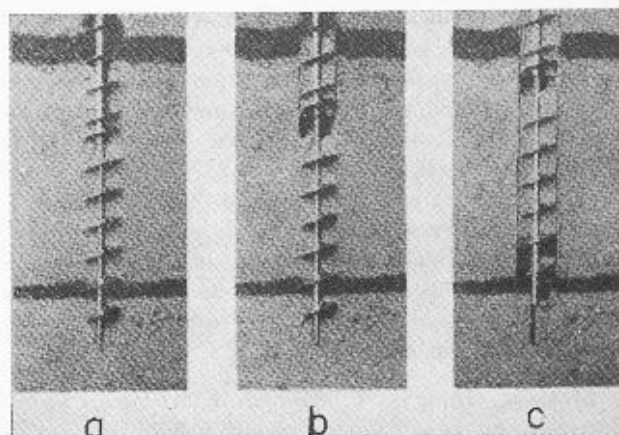


Fig. 7. — Tarière bipartite.

- a. Enfouissement des deux parties.
- b. Retrait de la partie supérieure.
- c. Essai de cisaillement par retrait de la partie inférieure.

section des tiges, les tiges sont alors remontées et l'appareil tiré par un câble ouvre ses bras qui se plantent dans le terrain. L'essai se fait en remontant l'appareil à vitesse constante, l'effort de traction nécessaire est enregistré graphiquement de façon continue. Une courbe d'étalonnage permet de traduire directement la traction sur le câble de l'iskymètre en résistance au cisaillement du terrain.

La comparaison des résultats obtenus avec d'autres méthodes, en particulier avec l'essai au moulinet, n'était pas toujours satisfaisante, aussi l'auteur a-t-il amélioré la formule d'étalonnage de l'appareil en y introduisant

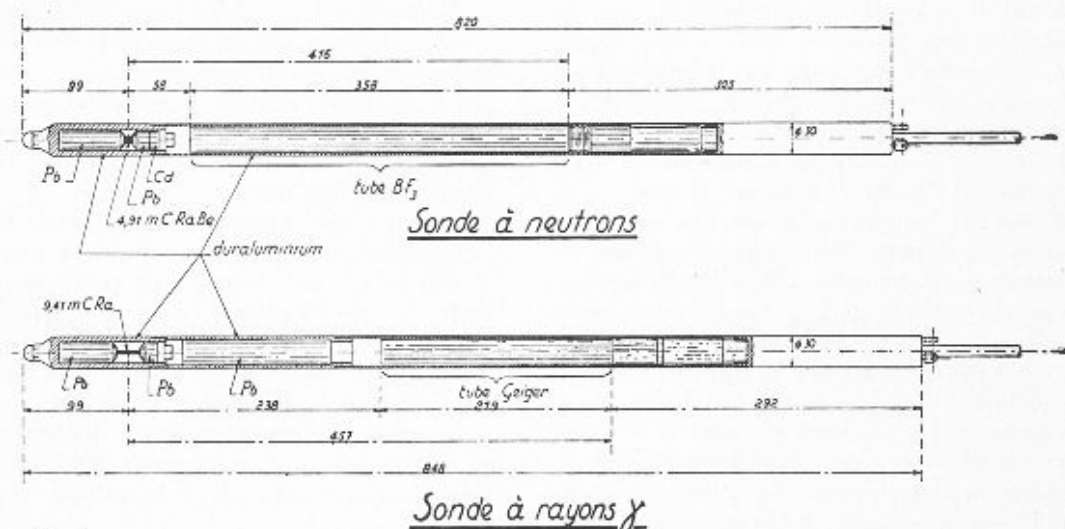


Fig. 8.

des termes correctifs dans lesquels interviennent le poids volumétrique et la sensibilité de l'argile ainsi que la profondeur où est exécutée la mesure. La dispersion des résultats se réduit alors à environ $\pm 10\%$. De même que le pénétromètre du même auteur, l'iskymètre a le grand avantage de donner des résultats continus qui permettent une corrélation immédiate et facile des mesures exécutées en différents points et par conséquent de réduire le nombre des sondages et des prélèvements d'échantillons.

Sokjer, Suède, (2/19) décrit une sondeuse dite machine Asond qui permet outre la manœuvre d'un pénétromètre, d'un échantillonneur ou d'un disque de charge hélicoïdal, de foncer dans le sol une tarière bipartite au moyen de laquelle on peut déterminer la résistance au cisaillement du sol (fig. 7). La tarière dont les deux éléments sont rapprochés est d'abord vissée dans le sol avec un guidage correspondant exactement à son pas. L'élément supérieur est alors retiré, créant un vide au-dessus de l'élément inférieur. Ce dernier est retiré à son tour et l'effort de cisaillement correspondant est mesuré. La remontée de la tarière fournit en outre un échantillonnage et on peut même prélever entre ses pales des échantillons intacts. Dans les sols peu cohérents on peut, afin d'éviter la perte de l'échantillon, visser par-dessus la tarière, avant de la remonter, un tube de protection muni à l'extérieur d'une hélice du même pas que la tarière.

Raedchelders et Goelen, Belgique, (2/14) décrivent deux sondes à rayonnement (fig. 8) comprenant chacune un émetteur de particules et un récepteur.

— La sonde à neutrons permet de déterminer la teneur en eau d'un terrain. Son fonctionnement est basé sur le fait que les neutrons émis par la sonde se transforment en neutrons thermiques lorsqu'ils rencontrent les protons formant le noyau de l'hydrogène de l'eau. Le nombre de neutrons thermiques enregistré par le récepteur augmente donc avec la quantité d'eau du milieu entourant la sonde.

— La sonde à rayons γ permet de déterminer le poids volumétrique du terrain. Son fonctionnement est basé sur le fait que lorsqu'un rayon γ rencontre un électron libre, il lui transmet une partie de son énergie et modifie sa propre trajectoire ; ce phénomène connu sous le nom d'effet Compton s'accroît donc avec la probabilité de rencontre d'électrons, donc avec le poids volumétrique du milieu. La quantité de rayonnement revenant par rétrodiffusion au comp-

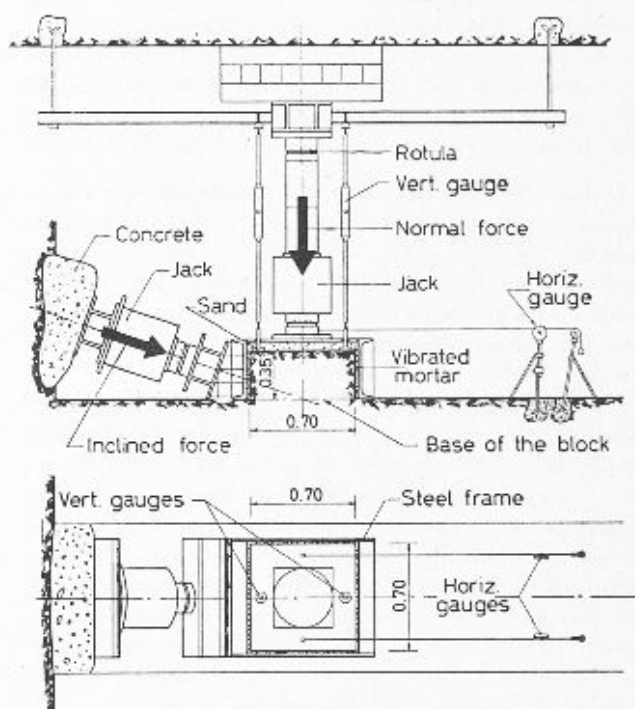


Fig. 9. — Dispositif pour essai de cisaillement de la roche en place.

teur de Geiger formant récepteur croît elle aussi avec le nombre d'électrons rencontrés, donc avec le poids volumétrique du milieu.

Warlam, Etats-Unis, (2/21) décrit un compressimètre triaxial développé pour être utilisé au chantier. Diamètre des échantillons 15 cm — pression 25 kg/cm², charge maximum 10 tonnes — construction simple et robuste sans utilisation d'énergie électrique. Cet appareil est malgré tout un appareil de laboratoire qui n'est pas à sa place dans cette section.

IV. Mesures sur les sols en place

A. Essais de charge directe

Serafim et Lopes, Portugal, (2/18) ont fait pour l'étude des fondations du barrage de Alto Rabagao et de quelques autres barrages, de nombreux essais de résistance au cisaillement. Ces essais avaient entre

autres pour but de se rendre compte de la diminution de résistance des roches en fonction de leur degré d'altération, ce dernier étant défini par le pourcentage d'eau que peut absorber un échantillon séché à 105°. Les auteurs comparent les résultats obtenus lors des essais en place avec ceux obtenus au laboratoire avec un compressimètre triaxial. La figure 9 montre le dispositif d'essai : le bloc d'essai a une base carrée de 70 × 70 cm, il est entouré d'un cadre métallique, la pression verticale peut atteindre 7 kg/cm². La tension de rupture peut être définie de deux façons, soit comme étant le maximum de la tension obtenue au cours de l'essai, soit comme étant la tension existant au moment où l'arrêt du bloc d'essai opposée à la poussée commence à se soulever. Les résultats obtenus sur la roche en place et ceux obtenus au laboratoire correspondent assez bien pour les roches compactes. Comme on peut s'y attendre la correspondance est moins bonne dès que les roches sont fissurées ou feuilletées. Pour les roches altérées les déformations sont fortes et une attention particulière doit être vouée aux différences de tassements qui pourraient intervenir sous le barrage. Pour les roches saines l'attention doit être portée sur la coopération du béton et de la roche au niveau de la fondation, le contact représentant le point faible du système.

Dvorak, Tchécoslovaquie, (2/5) a exécuté des essais de charge sur des roches et des sols graveleux. Il compare les résultats obtenus avec la théorie d'un semi-espace indéfini non linéaire et en déduit pour les sols étudiés les constantes d'intégration de l'équation générale, qui donne pour les courbes tensions-déformation une loi parabolique de puissance variable.

L'auteur a également exécuté des essais de cisaillement, dans des roches et dans des terrains graveleux au moyen de cadres en acier. Pour les roches, la coïncidence avec la loi de Coulomb est assez bonne pour autant que les roches ne soient pas trop fissurées. Pour les sols graveleux, la résistance au cisaillement diminue avec la surface essayée, surtout si la granulométrie est grossière et la teneur en eau élevée. La comparaison avec des essais triaxiaux de laboratoire fait apparaître une cohésion et une résistance au cisaillement plus grandes en nature qu'au laboratoire.

B. Essais de pénétration

Schultze et Menzenbach, Allemagne, (2/17) ont essayé de trouver une corrélation entre l'essai de pénétration normalisé et la compressibilité du sol en examinant 12 groupes de sols allant du gravier à l'argile pour lesquels ils possèdent 225 couples de valeurs provenant d'une part du pénétromètre, d'autre part d'essais de compressibilité en laboratoire. Pour les sols graveleux, sableux et limoneux non saturés d'eau la relation est linéaire et les coefficients correspondants ont pu être déterminés. Pour les sols submergés la relation n'est pas claire : avec le même nombre de coups dans un terrain de même composition la pénétration est plus grande sous la nappe qu'au-dessus ; la différence est d'autant plus accentuée que le sol est peu compact. Pour les sols cohérents la relation est d'autant moins claire que les grains sont petits, pour l'argile il n'a pas été possible de trouver une relation. Ce phénomène est attribué à l'influence de la pression interstitielle qui absorbe une partie de l'énergie de battage.

Meigh et Nixon, Angleterre, (2/13) comparent les valeurs obtenues pour la capacité portante de différents terrains allant du sable limoneux au gravier, en partant des résultats d'essais de pénétration normalisés, d'essais au pénétromètre hollandais, d'essais de charge sur plaque et des observations faites sur le tassement de semelles de fondation.

Ils arrivent à la conclusion que l'essai de pénétration normalisé donne des valeurs raisonnables, plutôt prudentes pour les sables fins, mais qu'il sous-estime nettement la capacité portante des terrains sablo-graveleux et graveleux. Les essais au pénétromètre hollandais donnent des valeurs assez exactes tant pour les sables fins que pour les terrains plus grossiers.

Les essais de charge sur plaque donnent des résultats se rapprochant de ceux des essais de pénétration normalisés, ils conduisent même à des valeurs encore plus prudentes.

Il est intéressant de noter que les rapports entre les valeurs obtenues avec ces différentes méthodes de mesure varient entre 1 et 7,5, ce qui prouve la prudence dont il faut faire preuve en indiquant la force portante d'un terrain en se basant sur un seul essai.

Kühn et Williams, Afrique du Sud, (2/11) ont cherché à déterminer les profondeurs d'affouillement atteintes dans des fleuves au cours de crues. Ils ont appliqué les méthodes suivantes :

- sondages avec échantillonnage ;
- mesures au pénétromètre hollandais ;
- mesures de poids apparents avec une sonde à isotopes ;
- mesures sismiques.

Souvent les résultats obtenus par l'une ou l'autre méthode n'étaient pas clairs, mais en général la comparaison et la combinaison des résultats obtenus par toutes les méthodes permit de déterminer la profondeur d'affouillement cherchée qui peut atteindre 7 m dans des terrains sableux.

C. Essais avec isotopes radioactifs

Peter, Tchécoslovaquie, (2/5) donne un aperçu théorique des phénomènes qui se passent lorsque l'on injecte une solution radioactive dans un forage. L'équation exprimant l'activité en un point donné en fonction du temps comporte six termes se rapportant à la forme d'écoulement, à la désintégration de l'élément radioactif, à la diffusion, à la dispersion, à la radiation.

A ces termes généraux il faudrait ajouter selon les cas des correctifs tenant compte des effets thermiques, des effets chimiques et des échanges d'ions. Comme on le voit le problème théorique n'est pas simple !

Les essais pratiques exécutés par l'auteur montrent que la perte d'activité est d'autant plus forte que le terrain est fin (perte quatre fois plus forte dans le sable que dans le gravier). Au stade actuel il faut se contenter de valeurs relatives. Enfin, le choix de l'isotope est important et l'auteur conseille le sodium 24 pour le gravier, le brome 32 pour les sables grossier et moyen et l'iode 131 pour le sable fin.

Raedschelders et Goelen, Belgique, (2/14) ont fait pour étalonner une sonde à neutron et une sonde à rayons γ des mesures dans des sols de caractéristiques connues mis en place avec ou sans discontinuités dans des fûts de 250 l.

Ces essais ont montré :

— que les mesures sont faussées près de la surface du terrain dès que la sonde n'est plus complètement immergée dans celui-ci ;

— que par suite du même effet, les mesures en profondeur sont faussées par la présence de cavités ;

— qu'à proximité de la surface de séparation de deux couches différentes, il n'y a pas d'anomalie sinon que les courbes indiquent un passage progressif et non brusque d'une couche à l'autre.

D. Essais par vibration

Viernig, Allemagne, (2/20) a procédé pour l'étude des fondations de machines lourdes et provoquant des vibrations, à des mesures de propagation d'ondes sismiques dans des sols allant du sable graveleux au sable argileux. L'excitateur pèse de 1,8 à 3,5 t et transmet des vibrations variables à une plaque posée sur le sol. La fréquence de résonance et l'amplitude permettent de déterminer le coefficient de gonflement et l'angle de frottement interne du sol.

De ces essais il résulte qu'une grande compacité est nécessaire, non seulement pour augmenter la capacité portante et diminuer la sensibilité au tassement, mais pour que le comportement oscillatoire ne varie pas en fonction du temps et que, s'il faut remplacer de mauvaises couches du terrain, il faut le faire avec un matériau non cohérent, à degré élevé de non-uniformité.

Kunmmeneje et Eide, Norvège, (2/12) ont étudié sur la côte de Norvège des dépôts sous-marins de sable fin, dans lesquels existe un danger de glissement par liquéfaction, phénomène observé déjà à plusieurs reprises en particulier dans le golfe de Trondheim.

Des échantillons ont été prélevés et examinés en laboratoire, des essais de charge sur plaque et au pénétromètre à pression statique ont été exécutés et enfin on a tenté de provoquer des glissements au moyen d'explosions dont les effets ont été soigneusement mesurés : pressions interstitielles, variation de résistance, tassements, vibrations.

On a dû renoncer à provoquer des glissements car le phénomène de liquéfaction reste limité au voisinage immédiat du point d'explosion. Par contre on a observé des tassements tels qu'il semble possible de compacter ces terrains de façon économique à l'aide d'explosifs.

E. Essais à l'échelle 1 : 1

Bazett, Adams et Matyas, Canada, (2/1) relatent que le canal du Saint-Laurent a dû être excavé à plusieurs endroits dans une couche d'argile fissurée et altérée, et que des essais furent faits pour déterminer les caractéristiques de ce matériau.

Les résultats de résistance au cisaillement obtenus au laboratoire par des essais au compressimètre triaxial différaient très sensiblement de ceux obtenus sur le sol en place par des essais avec différents types de moulinets. On excava alors une tranchée à la dragline jusqu'à ce que des glissements se produisent sur ses bords et on déduit de la forme des glissements la résistance effective au cisaillement (fig. 10).

La comparaison des résultats obtenus indique que jusqu'à environ 3 m de profondeur la concordance des trois méthodes est assez bonne. Au-delà de cette profondeur les résultats diffèrent de plus en plus. L'essai au moulinet donne des valeurs de résistance de plus en plus supérieures à celles des essais de laboratoire, la



Fig. 10. — Canal du Saint-Laurent. Tranchée d'essai.

valeur réelle est située entre les deux autres. Ces différences sont attribuées à la décomposition de l'argile lors du prélèvement et du maniement des échantillons.

En basant les calculs de stabilité sur les valeurs d'essai on aurait obtenu par rapport à la stabilité réelle un coefficient de sécurité variant de 1,2 à 1,6 pour les essais de laboratoire et variant de 0,7 à 1,0 pour les essais en place au moulinet, qui auraient donc conduit à des glissements et à des modifications de projet.

F. Essais d'écoulement

Cambefort et Mazier, France, (2/3) relatent une étude très intéressante sur des mesures de vitesse d'écoulement de l'eau dans des terrains alluvionnaires hétérogènes. Les appareils de mesure utilisés sont le micromoulinet et l'anémomètre à fil chaud qui permettent des mesures précises jusqu'à des vitesses de l'ordre de 1 cm/sec. Les auteurs ont remarqué que dans un forage

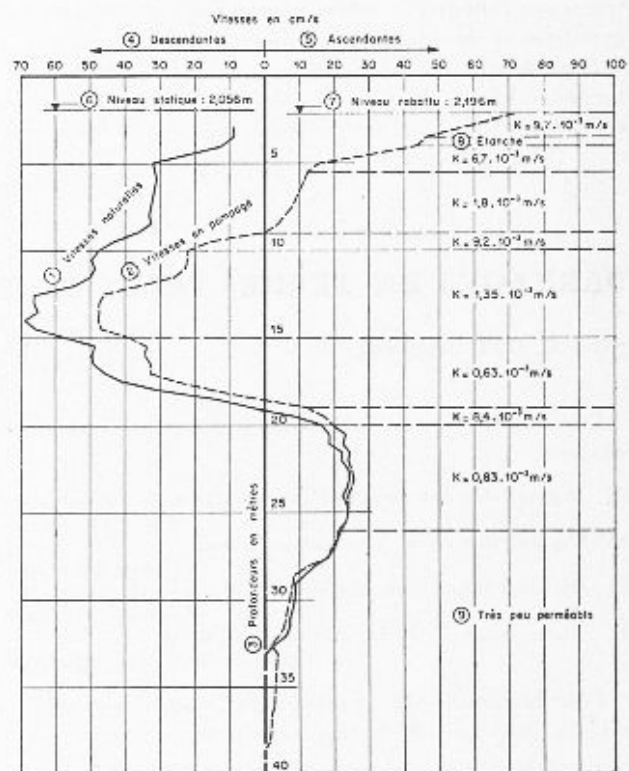


Fig. 11. — Essais au micromoulinet dans les alluvions du Drac.

filtrant au repos, c'est-à-dire dans lesquels on ne pompe pas, il y a presque toujours des courants ascendants ou descendants. Ces courants sont dus à la présence de couches plus ou moins perméables entre lesquelles les différences de régime d'écoulement de la nappe créent des gradients de pression.

En mesurant les vitesses d'écoulement à l'intérieur et au voisinage d'un forage filtrant soit au repos, soit avec une dépression créée par pompage, ou une surpression créée par injection d'eau, on peut déterminer un profil de perméabilité du terrain extrêmement utile tant pour des problèmes de captage, que de drainage ou d'étanchement par injection. Cette méthode a l'avantage de fournir une mesure continue, alors que les essais Lefranc ne donnent que des valeurs ponctuelles et que les essais de pompage ne donnent qu'une valeur moyenne sur une section de forage.

La figure 11 représente des mesures exécutées dans un forage de 40 m traversant les alluvions du Drac à l'emplacement de la digue de Notre-Dame de Comniers. La courbe n° 1 représente les vitesses naturelles donc sans pompage. On voit que les terrains peu perméables du bas du forage et ceux de perméabilité variable du haut du forage alimentent tous deux une couche perméable de faible épaisseur située vers 20 m de profondeur. La courbe n° 2 représente les vitesses avec un faible pompage dans le forage. On voit que l'eau pompée ne provient que des 10 premiers mètres du forage. En augmentant l'intensité de pompage, la courbe se déplacerait toujours plus vers la droite et on finirait par n'avoir plus que des vitesses ascendantes dans le forage.

De l'ensemble de ces communications quelles conclusions tirer ? Tout d'abord que les géotechniciens ont l'esprit inventif et sont pleins de fantaisie, ce qui se remarque tant par la diversité que par l'ingéniosité des appareils et des méthodes qu'ils conçoivent.

Ensuite que ces appareils et que ces méthodes ont tendance à se multiplier et à s'affiner et de ce fait à se compliquer. On est sorti définitivement de l'ère des

essais primitifs faits avec des appareils bricolés au chantier. Pour pouvoir utiliser à fond l'ensemble complexe des possibilités que nous offrent les techniques actuelles il faut disposer, en plus d'outillages compliqués et coûteux : échantillonneurs, sondes de tous types, sismographes, etc., de personnel très spécialisé : géotechniciens de laboratoire, ingénieurs de forage, sondeurs, mécaniciens, électriciens, physiciens, etc., ce qui amène par la force des choses à une séparation toujours plus marquée de leurs activités respectives. En contrepartie, il devient de plus en plus difficile de trouver des techniciens connaissant suffisamment tout ce domaine pour choisir judicieusement l'appareil ou la technique la mieux appropriée à chaque cas d'espèce et d'en connaître les limites. Dans la pratique il est souvent préférable de se contenter d'un essai primitif dont on connaît les défauts plutôt que de recourir à une méthode raffinée dont on connaît mal les sources d'erreur. Par contre il serait souhaitable que les maîtres de l'œuvre recourent plus souvent, parallèlement à une ou plusieurs méthodes éprouvées à des procédés nouveaux afin d'en vérifier l'efficacité et d'en faciliter le développement. Le risque de résultats négatifs est certainement compensé, au moins à longue échéance, par une amélioration des méthodes qui se traduit en fin de compte par une économie.

Des discussions du congrès il ressort que les méthodes les plus éprouvées, telles que les essais au pénétromètre, peuvent dans certains cas induire en erreur et qu'il y a toujours avantage à pouvoir comparer les résultats obtenus avec des méthodes basées sur des principes différents.

Enfin n'oublions pas que la géotechnique n'est pas une science exacte et qu'elle s'applique à un milieu d'une diversité infinie et d'une hétérogénéité souvent très marquée, spécialement dans notre pays. Il est facile d'obtenir des résultats de mesures ou d'essais, mais il est indispensable et beaucoup plus difficile de les interpréter de façon critique, de les comparer entre eux et au besoin de les éliminer. Que l'abondance des chiffres et des graphiques n'aveugle pas notre bon sens !

BARRAGES EN TERRE, TALUS ET TRANCHÉES OUVERTES - SECTION 6

par J. C. OTT, ingénieur

Les sujets traités intéressaient les questions suivantes :

- A) *Digues*, stabilité pendant et après la construction : 7 communications
 B) *Digues*, fondation, percolation, renard : 14 communications
 C) *Digues*, compactage, affaissement, pression interstitielle : 7 communications
 D) *Talus naturel, fouille, remblais*, stabilité : digue — 20 communications

Pour la commodité du classement, nous avons subdivisé les questions de la façon suivante :

- a) méthode d'exécution, description de l'ouvrage
 b) observations et essais
 c) calculs appliqués
 d) méthode de calcul théorique

8 rapports se rattachent au sujet a)
 22 » » » » » b)
 6 » » » » » c)
 29 » » » » » d).

Le résumé de chaque communication est indexé selon la subdivision ci-dessus.

MM. Agnes et Soeiro, France (1 - A/b - B/b - C/b) analysent le comportement de barrages en terre, construits à Madagascar, munis à l'amont de puits de décompression des sous-pressions. Les épaisseurs des perrés de protection amont, avec filtres inversés, sont examinées en fonction de l'inclinaison des talus, à la lumière des dégâts durant les cyclones de 1959. Une protection de 1 m d'épaisseur s'est révélée suffisante pour une