

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 93 (1967)  
**Heft:** 16

**Artikel:** Essais de cisaillement direct à volume variable et à volume constant  
**Autor:** Cérenville, H.-B. de  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-69084>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### 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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### 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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 26.01.2026

**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 (SVIA)  
de la Section genevoise de la SIA  
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'EPF (Ecole poly-  
technique fédérale de Zurich)

## COMITÉ DE PATRONAGE

Président: E. Martin, arch. 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. Grosgruin, arch.; J.-C. Ott, ing.  
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; R. Guye, ing.  
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.  
Vaud: A. Chevally, 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: Ed. Bourquin, ing.; G. Bovet, ing.; M. Bridel; M. Cosandey, ing.; J. Favre, arch.; A. Rivoire, arch.; J.-P. Stucky, ing.  
Adresse: Avenue de la Gare 10, 1000 Lausanne

## RÉDACTION

D. Bonnard, E. Schnitzler, S. Rieben, ingénieurs; M. Bevilacqua,  
architecte  
Rédaction et Editions de la S.A. du « Bulletin technique »  
Tirés à part, renseignements  
Avenue de Cour 27, 1000 Lausanne

## ABONNEMENTS

1 an . . . . .	Suisse Fr. 40.—	Etranger Fr. 44.—
Sociétaires . . . . .	» » 33.—	
Prix du numéro . . . . .	» » 2.—	» 2.50

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »,  
N° 10 - 5775, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, vente au  
numéro, changement d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie  
La Concorde, Terreaux 29, 1000 Lausanne

## ANNONCES

Tarif des annonces:  

1/1 page . . . . .	Fr. 423.—
1/2 » . . . . .	» 220.—
1/4 » . . . . .	» 112.—
1/8 » . . . . .	» 57.—

Adresse: Annonces Suisses S.A.  
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26, 1000 Lausanne et succursales



## SOMMAIRE

Essais de cisaillement direct à volume variable et à volume constant, par H.-B. de Cérenville, ingénieur, Lausanne.  
Bibliographie. — Documentation générale. — Informations diverses.

## ESSAIS DE CISAILLEMENT DIRECT À VOLUME VARIABLE ET À VOLUME CONSTANT

par H.-B. DE CÉRENVILLE, ingénieur, Lausanne<sup>1</sup>

### I. Changement de volume lors du cisaillement

On sait que la résistance au cisaillement d'un sol dépend dans une large mesure des changements de volume qui peuvent — ou ne peuvent pas — se produire sur le plan de rupture.

D'une manière générale, les sols à forte densité — sables compacts, argiles surconsolidées — tendent à augmenter de volume lors du cisaillement, alors que les sols à faible densité — sables lâches, argiles normalement consolidées — tendent à diminuer de volume.

Imaginons un sable relativement compact, tel qu'on le trouve sur une plage. Ses grains sont enchevêtrés les uns dans les autres, de telle manière que, lors d'un déplacement relatif des grains, c'est-à-dire lors d'un cisaillement, le mouvement ne peut prendre place que

- si les grains se cassent sur le plan de cisaillement ;
- ou bien si les grains s'écartent légèrement en grimpant les uns sur les autres.

Dans ce dernier cas, les grains solides ne changeant pratiquement pas de volume, le volume total du sable augmente, et le volume des vides croît. Cette propriété du sol qu'on appelle « dilatance » explique pourquoi si

l'on marche sur une plage de sable saturé d'eau, on note autour du pied une zone moins humide. En effet, la pression du pied sur le sable assez compact produit des contraintes de cisaillement en profondeur qui ont pour conséquence une augmentation du volume des vides. L'eau de surface descend alors rapidement remplir ces vides.

Le phénomène contraire se produit dans les sables lâches ou les argiles normalement consolidées. Lors du cisaillement, les grains ont tendance à se rapprocher les uns des autres. Le volume des vides tend donc à diminuer, de même que le volume total. Il y a alors tendance à expulsion de l'eau.

### II. Influence des pressions interstitielles sur la résistance au cisaillement

Si l'on se trouve en présence d'un sol lâche saturé dont le volume tend à diminuer lors d'un cisaillement,

<sup>1</sup> Conférence donnée à Lausanne, le 12 mai 1967, devant les membres de la Société suisse de mécanique des sols et des travaux de fondations. (Réd.)

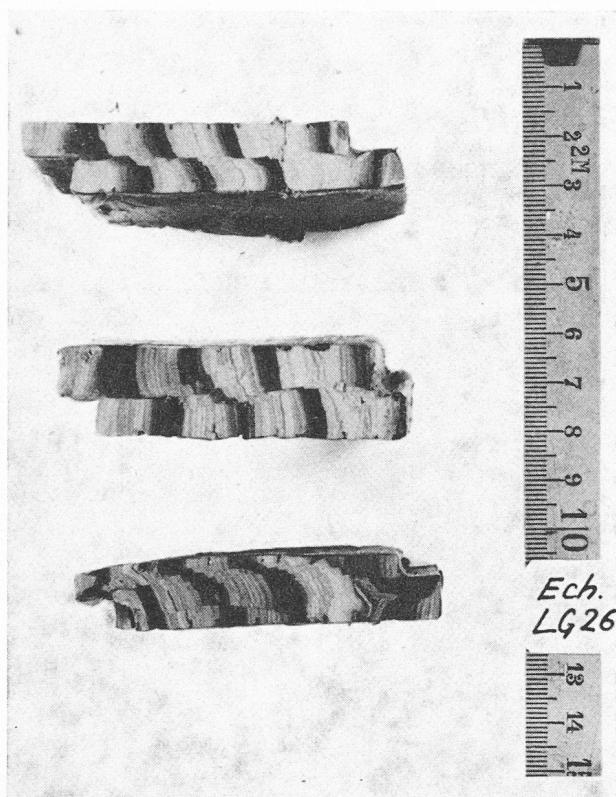


Fig. 1. — Coupes d'éprouvettes d'argile varvée après cisaillement.

la diminution du volume des vides n'est possible, si l'on néglige la compressibilité de l'eau, que si l'eau est expulsée. Si l'eau ne peut s'en aller — ou s'en aller assez vite à cause d'une faible perméabilité, ou à cause d'une limite étanche, ou, ce qui revient au même, si l'on a une grande masse saturée — la pression dans l'eau augmente, on a une *surpression interstitielle*. Tout ou partie des contraintes extérieures passe dans l'eau au lieu de se transmettre dans le sol de grain à grain.

Etant donné que la résistance au cisaillement dépend avant tout du frottement entre les grains, on voit qu'en cas de surpression interstitielle (ou pression neutre positive  $u$ ), la résistance au frottement ne se manifeste pas en fonction de la contrainte normale totale appliquée  $\sigma$ , mais en fonction de  $\sigma - u$  qu'on appelle la contrainte effective  $\sigma'$  ou  $\bar{\sigma}$ .

Dans un sol saturé compact qui tend à augmenter de volume lors du cisaillement, et où le volume des vides a donc tendance à croître, le phénomène inverse se produit si l'eau — ou l'air — ne peut arriver jusqu'aux vides pour les remplir. L'eau se trouve alors en *dépression*, la contrainte de grain à grain est augmentée, et la résistance au cisaillement devient plus forte que celle à laquelle on pourrait normalement s'attendre.

Si l'on appelle  $u$  la pression dans l'eau interstitielle, positive pour une surpression, négative pour une dépression, la loi de Coulomb devient :

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \operatorname{tg} \phi' = c' + \sigma' \operatorname{tg} \phi'$$

où  $\tau_f$  = résistance au cisaillement ;  
 $c'$  = cohésion effective ;

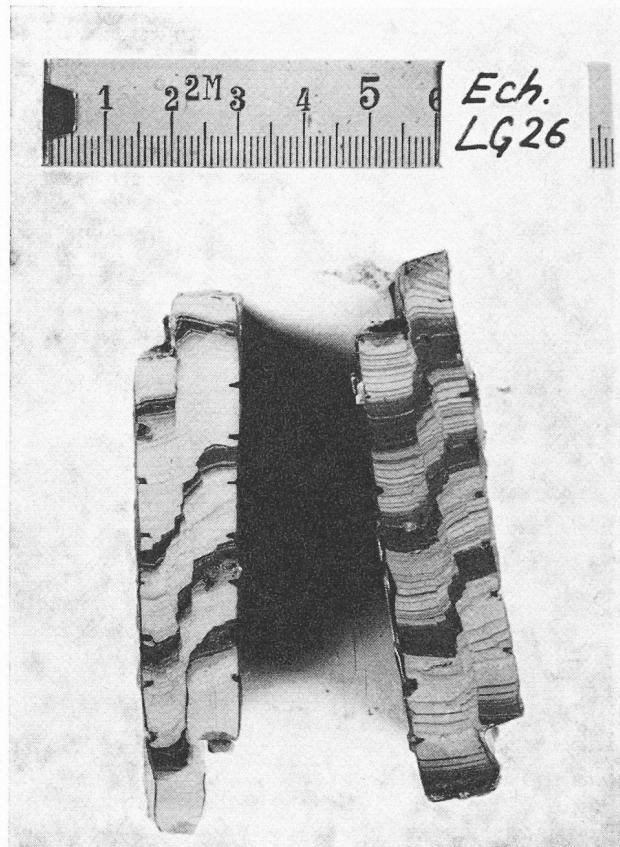


Fig. 2. — Coupes d'éprouvettes d'argile varvée après cisaillement.

$\sigma$  = contrainte normale sur le plan de cisaillement ;  
 $\sigma'$  = contrainte normale effective de grain à grain ;  
 $\operatorname{tg} \phi'$  = coefficient de frottement interne effectif.

### III. Détermination des résistances au cisaillement — Essai triaxial et essai direct

L'essai triaxial présente d'énormes avantages sur l'essai de cisaillement direct, notamment celui de permettre la mesure des pressions interstitielles ou des changements de volume, de pouvoir varier à volonté les contraintes principales  $\sigma_1$  et  $\sigma_3$ , et enfin de ne pas fixer d'avance la position du plan de rupture. Cet essai présente néanmoins des inconvénients théoriques et des difficultés pratiques qui en limitent quelque peu l'emploi.

Les inconvénients pratiques sont notamment le prix élevé des essais (Fr. 200.— à Fr. 300.— par point), et la difficulté de tailler et de mettre en place l'échantillon qui requiert des opérateurs habiles. Théoriquement, il y a aussi des difficultés à cause de la rigidité des platines qui prévoit une répartition uniforme des contraintes de compression et des déformations sur toute la hauteur de l'échantillon. En effet, l'échantillon ne reste pas cylindrique, il y a un gonflement non uniforme, et un cône rigide se forme sous les platines.

En outre, l'on n'a en réalité pas affaire à trois contraintes principales bien définies  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  et  $\sigma_3$  sur trois plans perpendiculaires, mais bien à une contrainte

axiale, une contrainte radiale et une contrainte tangentielle. Enfin, la consolidation ne peut normalement se faire qu'isotropiquement.

L'essai de cisaillement direct présente d'autres inconvénients et d'autres avantages. Ses défauts sont notamment que la rupture a lieu sur un plan imposé, que la section de cisaillement varie pendant l'essai, que les pressions latérales ne sont pas connues, et que la déformation angulaire varie d'un point à un autre de l'échantillon : très forte dans les bords, plus faible au milieu de l'échantillon, ainsi qu'on peut le voir sur les figures 1 et 2. En outre, il n'y a pas moyen de mesurer directement les pressions interstitielles. Quant à la consolidation, elle ne peut normalement se faire qu'anisotropiquement.

En revanche, l'essai de cisaillement direct offre l'avantage d'être facile à faire, relativement bon marché (au moins quatre à cinq fois meilleur marché que l'essai triaxial). Il peut être exécuté aussi bien sous l'eau que hors de l'eau, et permet de faire facilement des mesures de résistance sur des plans donnés tels que surfaces lustrées ou plans de stratification. Les changements de volume moyens sont faciles à mesurer ; on peut faire à choix, comme dans l'essai triaxial, les essais non consolidés non drainés dits « UU », les essais consolidés non drainés « CU » et les essais consolidés drainés « CD », selon qu'on emploie des platines poreuses ou étanches, et selon la vitesse de cisaillement.

En résumé, les avantages de l'essai triaxial sont tels que l'on a tendance à mépriser l'essai de cisaillement direct. Celui-ci a cependant des mérites appréciables, pour le praticien notamment, et on verra plus loin qu'il peut donner des renseignements assez complets. Il permet en outre de faire économiquement de nombreux essais et de réduire ainsi les risques.

#### IV. Essais de cisaillement direct à volume variable et à volume constant

On sait qu'il existe deux types de machines de cisaillement direct : le premier dit à *contrainte imposée*, le second à *déplacements imposés*. Dans le premier type, on applique des forces de cisaillement connues à une moitié de la boîte à échantillon et on mesure les déplacements relatifs correspondants ; dans le second, on impose le déplacement à la moitié inférieure de la boîte à échantillon et on mesure la résistance sur la moitié supérieure. Dans les deux cas, les essais se font normalement à *volume variable*, c'est-à-dire que l'échantillon doit pouvoir librement augmenter ou diminuer de volume pendant le cisaillement.

Après la guerre, on a commencé à s'intéresser aux essais de cisaillement direct à volume constant. En 1962, M. Hugh M. O'Neil<sup>1</sup> a pensé pouvoir montrer que, dans l'essai de cisaillement direct consolidé non drainé CU à volume constant, on mesure simultanément la résistance en fonction des contraintes totales et celles en fonction des contraintes effectives. En effet, dans un essai à volume constant, le développement de la pression interstitielle  $u$  est théoriquement empêché par la variation  $\Delta\sigma$  de la contrainte normale, de sorte

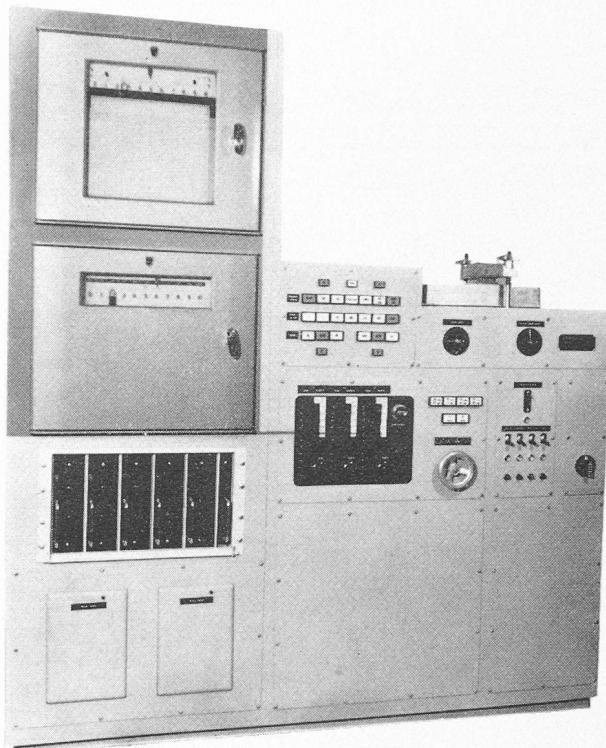


Fig. 3. — Machine de cisaillement direct pour essais à volume variable et à volume constant, avec enregistrement automatique des résultats.

qu'en tout temps  $\Delta\sigma = u$ . La contrainte normale  $\sigma$  serait ainsi toujours égale à la contrainte effective pour ce type d'essai CU.

#### V. Machine de cisaillement direct automatique pour essais à volume variable et à volume constant

On a vu que, pour le praticien, l'essai de cisaillement direct est intéressant par sa simplicité et son économie. Par ailleurs, O'Neil a montré que l'essai à volume constant apporte des renseignements supplémentaires qui permettent théoriquement d'obtenir les contraintes normales totales et effectives au moyen d'un seul essai CU.

Il a ainsi paru avantageux de construire une machine combinant l'enregistrement automatique des résultats avec la possibilité de faire des essais tant à volume constant qu'à volume variable. M. F. Robert, ingénieur à Genève, et la Société Tecnoconsult ont mis au point la machine que l'on peut voir sur la figure 3. Il s'agit d'une machine à déplacement relatif imposé où on dispose de six vitesses variant entre 1 cm/mn et 0,00167 cm/mn ou 0,167 mm/s et 0,000277 mm/s.

L'équipement comprend une unité de réglage, et un enregistreur à deux voies avec cinq vitesses de déroulement du papier de 0,67 cm/mn à 20 cm/mn, qui sont toujours proportionnelles au déplacement relatif  $D_R$  des deux moitiés de la boîte de cisaillement.

Les différentes grandeurs :

$F_H$  = résistance au cisaillement

$F_V$  = force normale

$D_V$  = changement d'épaisseur

sont mesurées ou réglées au moyen de capteurs électriques, avec un système de tarage, de sélection de gammes de mesure et de commutation.

<sup>1</sup> Direct shear test for effective strength parameters, par HUGH M. O'NEIL. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*. Proc. ASCE, août 1962.

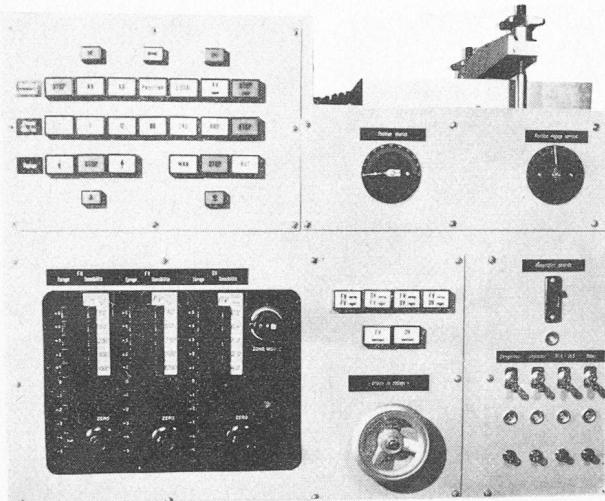


Fig. 4. — Tableau de commande.

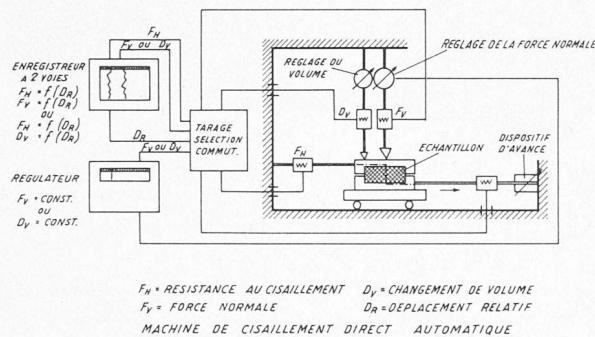


Fig. 6. — Schéma de fonctionnement.

#### ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT VOLUME VARIABLE SABLE COMPACT

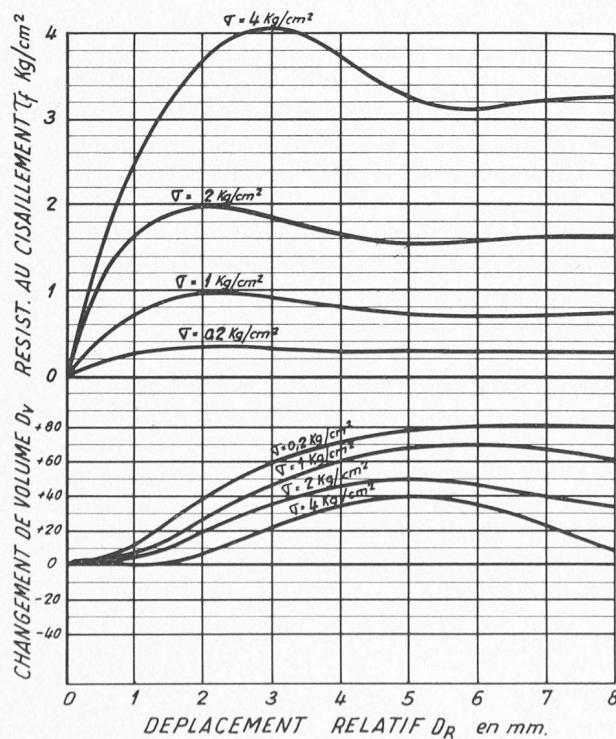


Fig. 7. — Essais à volume variable sur du sable compact.

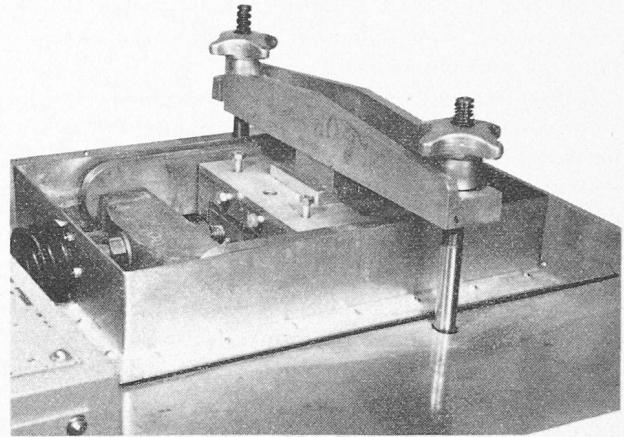


Fig. 5. — Boîte de cisaillement.

Deux types de programmes automatiques sont prévus :

- A) *Essai à volume variable*, où la contrainte normale  $\sigma$  est maintenue constante par l'unité de réglage, alors que les changements d'épaisseur moyenne  $D_V$  et la résistance au cisaillement  $\tau_f$  sont enregistrés en fonction du déplacement relatif  $D_R$ .
- B) *Essai à volume constant*, où les changements d'épaisseur (ou de volume)  $D_V$  sont maintenus nuls par l'unité de réglage, alors que les contraintes normales  $\sigma$  et les résistances au cisaillement  $\tau_f$  sont enregistrées en fonction du déplacement relatif  $D_R$ .

On dispose de cinq gammes de mesures des forces  $F_V$  et  $F_H$ , de 50, 100, 250, 500 et 1000 kg, et de cinq échelles pour la mesure des changements d'épaisseur  $D_V$  de 4, 2, 1, 0,5 et 0,2 mm. La sélection des gammes de mesure, des vitesses et du programme d'essai s'effectue directement sur le clavier de commande. Les figures 4 et 5 montrent le tableau de commande et la boîte de cisaillement. La figure 6 donne le schéma du fonctionnement.

#### VI. Résultats d'essais sur un sable

Il s'agit d'essais sur un sable assez anguleux, uniforme, de 0,3 à 1 mm de diamètre, dont les résultats sont classiques.

##### A) Essais à volume variable

*Fig. 7* : Résistance au cisaillement et changement de volume pour un sable compact ( $e \approx 0,7$ ) en fonction du déplacement relatif pour quatre valeurs de la contrainte normale  $\sigma$ . On voit bien que le gonflement de dilatance diminue avec l'augmentation de la contrainte normale.

*Fig. 8* : Résistance au cisaillement et changement du volume pour un  $\sigma$  donné de  $4 \text{ kg/cm}^2$  en fonction de l'indice de vide au départ  $e_0$ . On note la forte expansion du sable compact et la diminution de volume du sable lâche lors du cisaillement.

*Fig. 9* : Détermination des indices de vide critiques pour quatre contraintes normales, par le diagramme des changements de volume à la rupture en fonction des indices de vide au départ  $e_0$ .

*Fig. 10* : Courbes intrinsèques pour le sable de compacité forte, moyenne et lâche, avec des angles de frottement interne respectivement d'environ  $45^\circ$ ,  $39^\circ$  et  $34^\circ$ .

ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT VOLUME VARIABLE  
SABLE COMPACT, MOYEN ET LACHE- $\sigma = 4 \text{ kg/cm}^2$

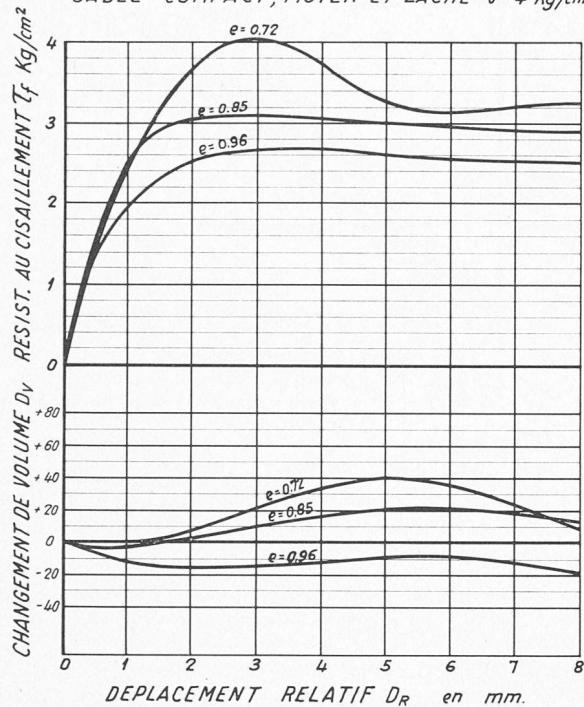


Fig. 8. — Essais à volume variable sur du sable avec  $\sigma = 4 \text{ kg/cm}^2$ .

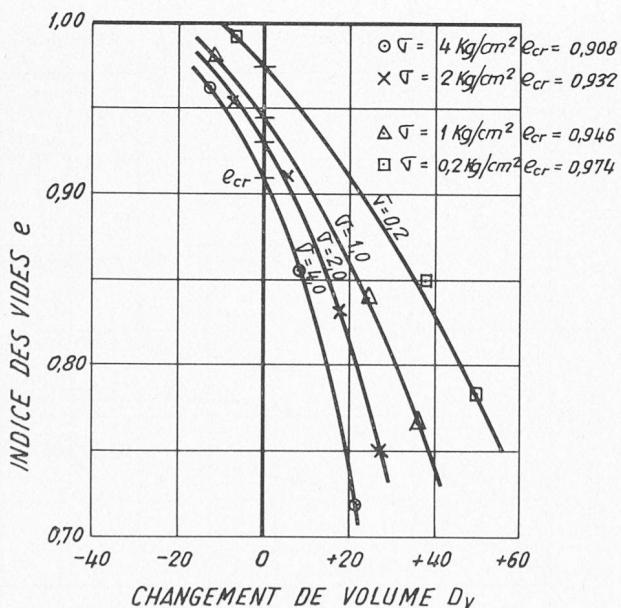


Fig. 9. — Indices de vide critiques du sable.

B) Essais à volume constant

Fig. 11 : Essais à volume constant pour sable compact et lâche, avec une contrainte normale initiale  $\sigma_0$  de  $1 \text{ kg/cm}^2$ . En haut, les valeurs de  $\sigma$  et  $\tau_f$  en fonction du déplacement relatif, en bas, en trait plein, les valeurs de  $\tau_f/\sigma$  dans l'essai à volume constant, en traitillé les valeurs de  $\tau_f/\sigma$  dans l'essai à volume variable.

On note l'énorme augmentation de la résistance

COURBES INTRINSEQUES - VOLUME VARIABLE  
SABLES COMPACTS-MOYENS-LACHES

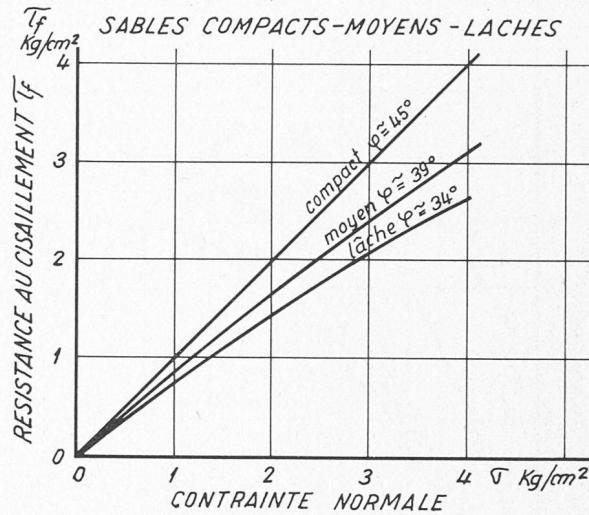


Fig. 10. — Courbes intrinsèques du sable — essais à volume variable.

ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT - VOLUME CONSTANT  
SABLE COMPACT ET LACHE -  $\sigma_0 = 1 \text{ kg/cm}^2$

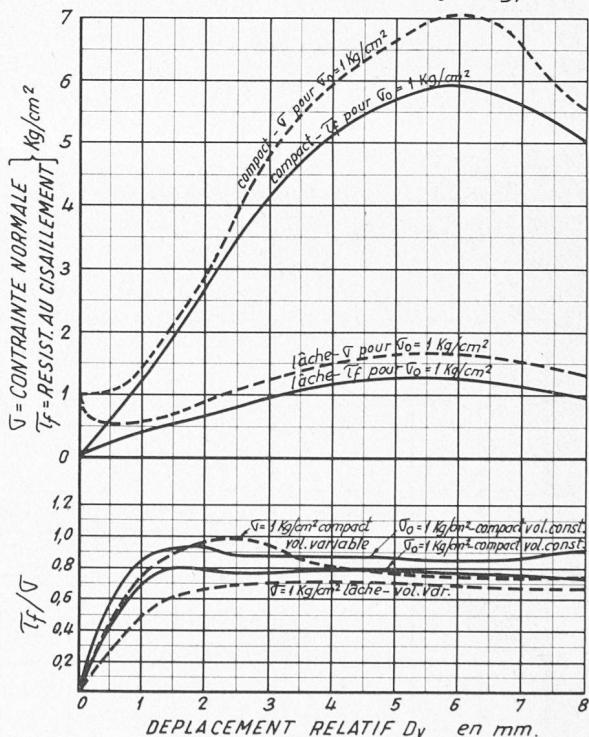


Fig. 11. — Essais à volume constant sur du sable avec  $\sigma_0 = 1 \text{ kg/cm}^2$ .

au cisaillement pour le sable compact (environ 6 fois celle à volume variable), et l'augmentation beaucoup plus faible pour le sable lâche (environ 1,8 fois celle à volume variable).

On remarque aussi que la résistance maximum se présente pour un déplacement relatif plus petit qu'à volume variable, car le désenchezement des grains n'est pas possible dans l'essai à volume constant.

ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT-VOLUME CONSTANT

SABLE COMPACT

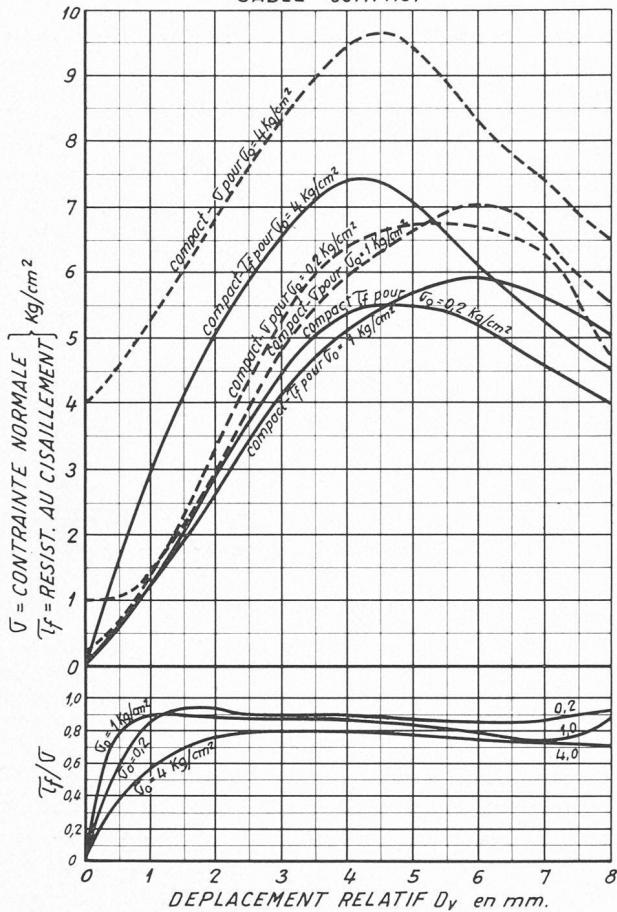


Fig. 12. — Essais à volume constant sur du sable compact.

ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT UU  
VOLUME VARIABLE - NON CONSOLIDÉ - NON DRAINE  
ARGILE

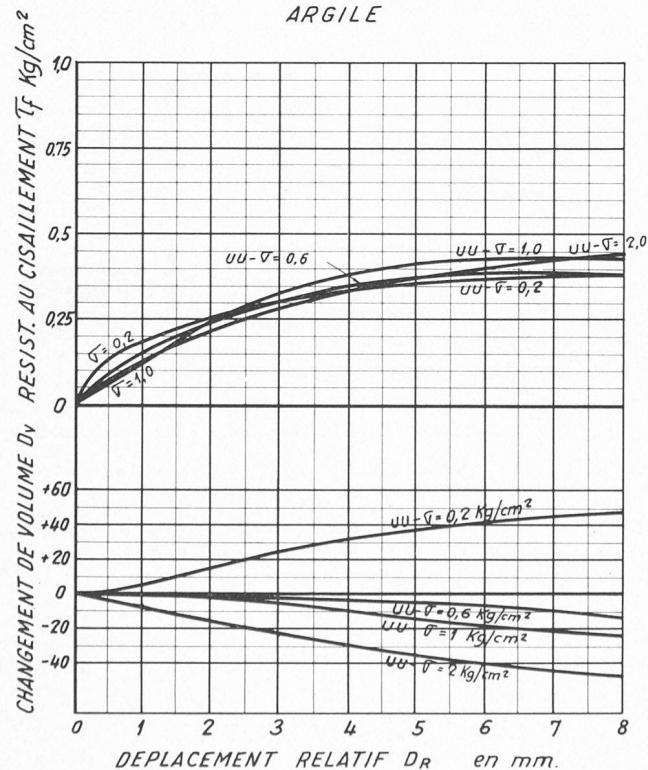


Fig. 14. — Essais UU rapides à volume variable sur de l'argile.

COURBES INTRINSEQUES

SABLE COMPACT ET LACHE

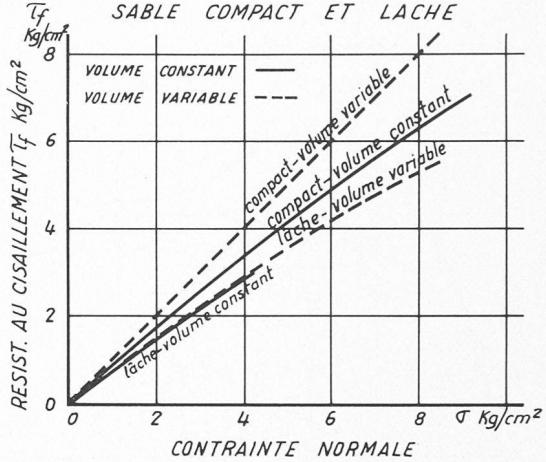


Fig. 13. — Courbes intrinsèques du sable — essais à volume constant (et variable).

Fig. 12 : Essais à volume constant du sable compact pour trois contraintes normales initiales  $\sigma_0$  de 0,2, 1 et 4  $\text{kg}/\text{cm}^2$ . On note que la résistance au cisaillement reste toujours élevée — entre 5,5 et 7,5  $\text{kg}/\text{cm}^2$  — alors que la valeur de  $\tau_f/\sigma$  plafonne à une valeur relativement basse, sensiblement plus faible qu'à volume variable. Cela est dû, en partie tout au moins, au phénomène d'attrition, c'est-à-dire de rupture ou d'usure des grains.

Fig. 13 : Courbes intrinsèques du sable compact et lâche : en trait plein à volume constant, en traitillé à volume variable. Si les résultats sont pratiquement identiques pour le sable lâche, en revanche, pour le sable compact, l'essai à volume constant donne un angle de frottement interne à peu près équivalent à l'angle du sable de compacité moyenne à volume variable.

ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT - VOLUME VARIABLE  
ARGILE-CONSOLIDÉ NON DRAINE - CU rapide

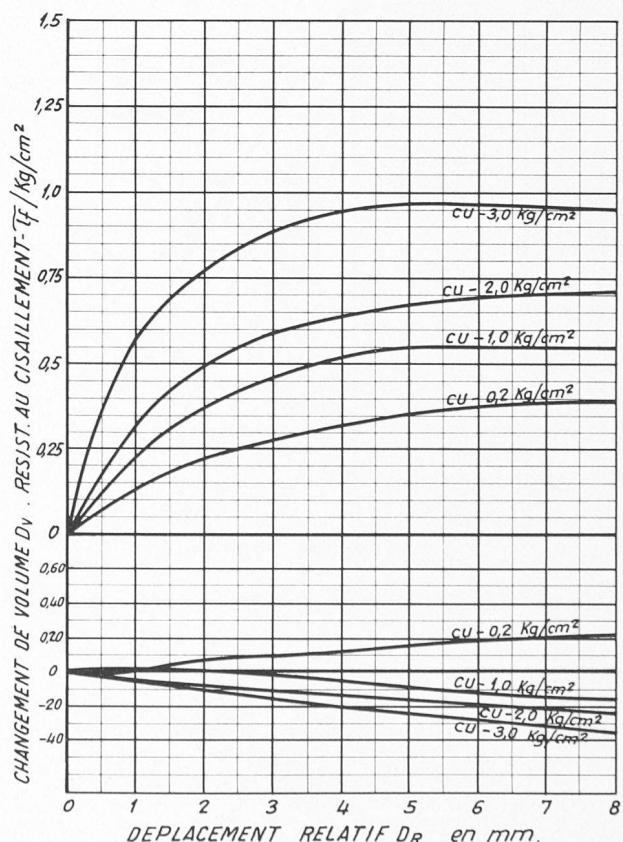


Fig. 15. — Essais CU rapides à volume variable sur de l'argile.

ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT - VOLUME VARIABLE  
ARGILE - CONSOLIDE DRAINE - CD.

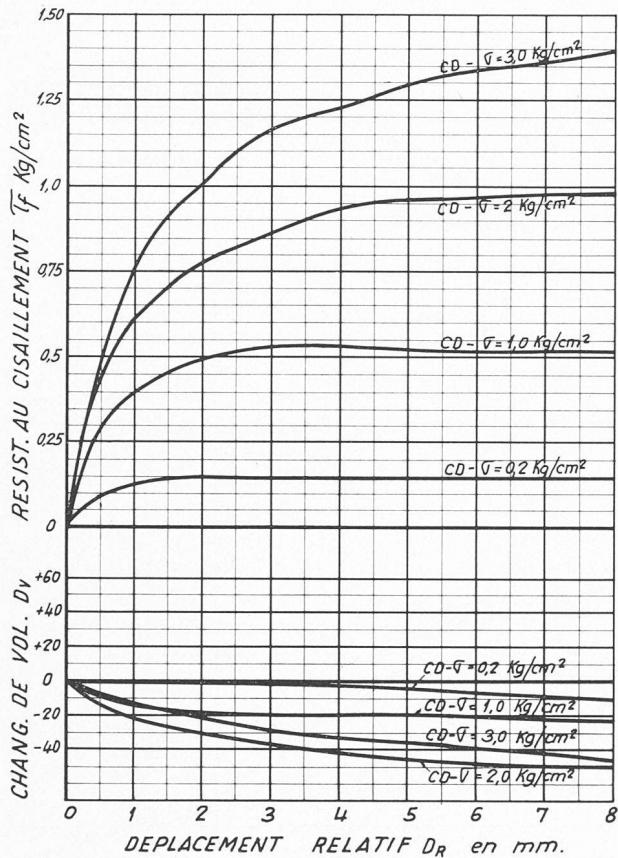


Fig. 16. — Essais CD lents à volume variable sur de l'argile.

L'essai à volume constant sur du sable met en évidence les trois phénomènes suivants :

- 1) Développement d'une énorme résistance pour le sable compact, limitée toutefois par le phénomène d'attrition, ou de rupture des grains.
- 2) Faible déplacement relatif nécessaire pour obtenir le coefficient de frottement maximum, vu l'impossibilité de désenchevêtrement des grains.
- 3) Diminution de l'angle de frottement interne du sable compact par rapport aux essais à volume variable, ensuite du phénomène d'attrition.

#### VII. Résultats d'essais sur une argile

Il s'agit d'une argile remaniée et reconsolidée à une teneur en eau de 23 %, ayant une limite de liquidité \$w\_L = 48 \%\$ et un indice de plasticité \$IP = 32 \%\$.

On distingue les trois types d'essais classiques :

Essais UU : non consolidés non drainés ;

Essais CU : consolidés non drainés ;

Essais CD : consolidés drainés.

#### A) Essais à volume variable

Fig. 14 : Essais UU rapides à volume variable. Résistance au cisaillement et changement de volume en fonction du déplacement relatif pour trois contraintes normales. La résistance au cisaillement est pratiquement indépendante de la contrainte normale. A faible charge, on a une augmentation de volume, alors qu'à plus forte charge il y a diminution de volume.

Fig. 15 : Essais CU rapides à volume variable. La résistance au cisaillement augmente avec la contrainte normale. On a une augmentation de volume à faible charge, une diminution de volume à plus forte charge.

ESSAIS DE CISAILLEMENT DIRECT-VOLUME VARIABLE  
ARGILE - PRECONSOLIDÉE À  $\bar{\sigma}_c = 3 \text{ kg/cm}^2$  DRAINE - CD

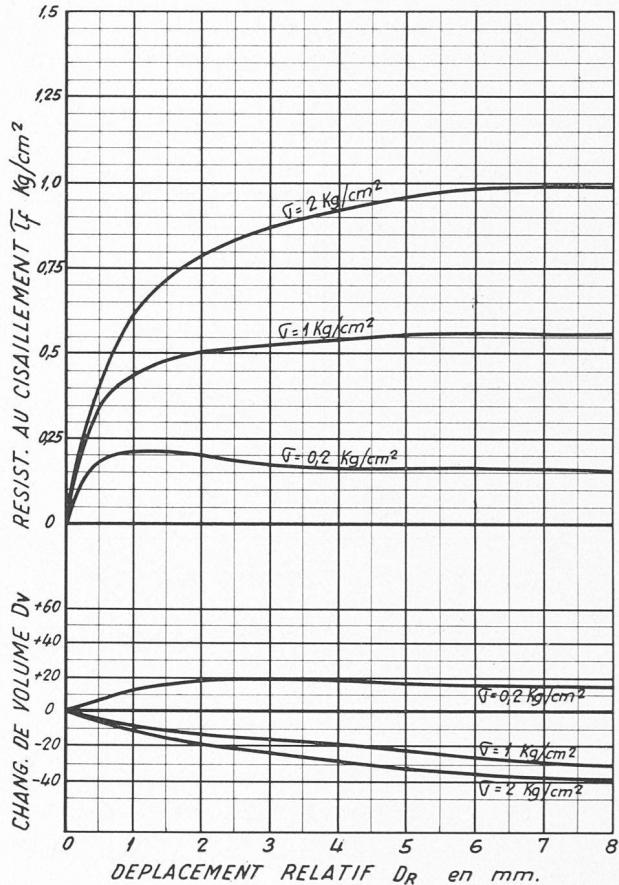


Fig. 17. — Essais CD lents à volume variable sur de l'argile préconsolidée à 3 \$\text{kg/cm}^2\$.

Fig. 16 : Essais CD lents à volume variable. La résistance au cisaillement est à peu près proportionnelle à la contrainte normale. On a une tendance marquée à la consolidation pendant l'essai malgré la consolidation préalable. Le réarrangement des grains reste possible pendant le cisaillement.

Fig. 17 : Essais CD lents, préconsolidés à 3 \$\text{kg/cm}^2\$, à volume variable. La résistance au cisaillement est un peu plus élevée que dans l'essai CD normal, d'autant moins qu'on se rapproche de la charge de préconsolidation. Il y a augmentation de volume à faible charge normale, diminution à charge plus forte — malgré la consolidation préalable.

Fig. 18 : Courbes intrinsèques pour les essais UU, CU et CD, à volume variable. Notons la différence de résistance entre essais CU rapides et lents, où l'on constate un effet de viscosité dans l'essai rapide.

ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT - VOLUME VARIABLE  
COURBES INTRINSEQUES UU-CU-CD  
ARGILE

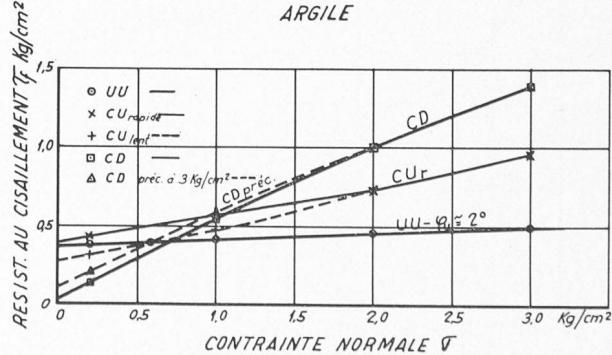


Fig. 18. — Courbes intrinsèques de l'argile — essais à volume variable.

ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT - VOLUME CONSTANT  
ARGILE NON CONSOLIDE, NON DRAINE - UU

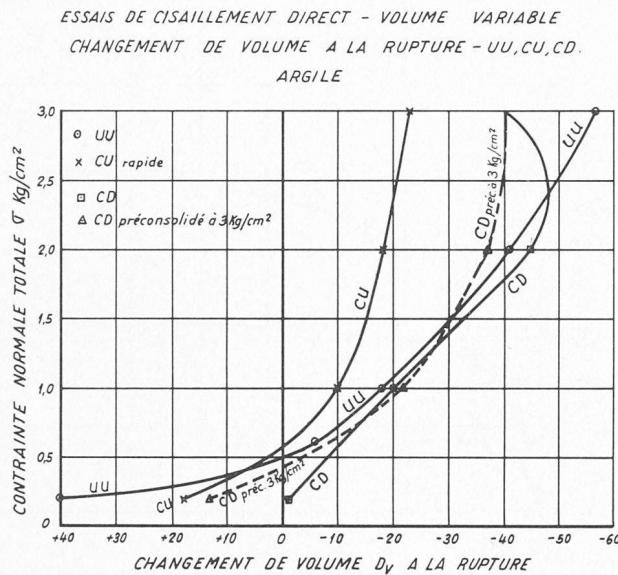


Fig. 19. — Changement de volume de l'argile à la rupture — essais à volume variable.

ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT - VOLUME CONSTANT  
ARGILE - CONSOLIDE NON DRAINE - CU

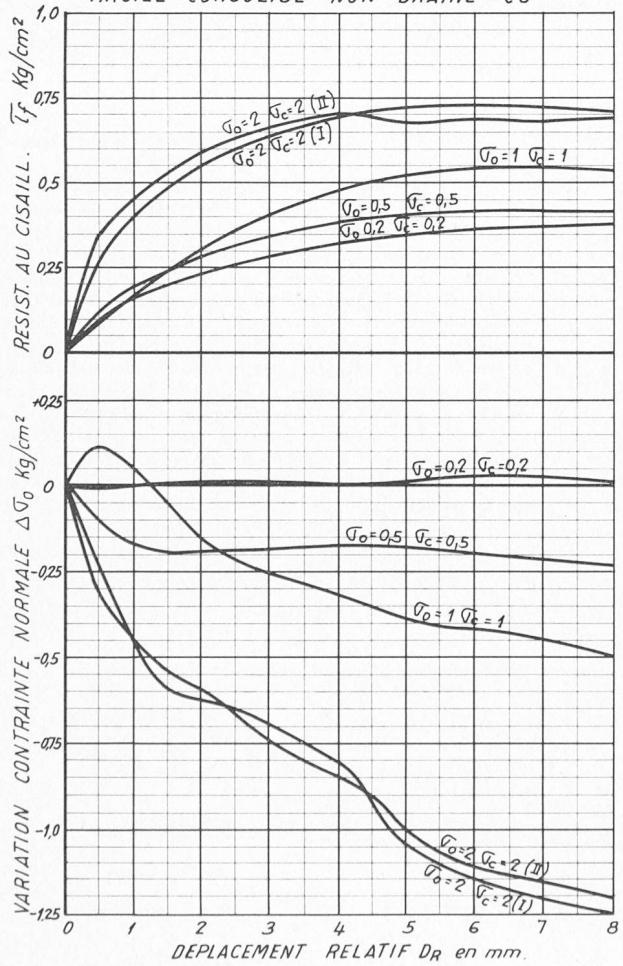


Fig. 21. — Essais CU à volume constant sur de l'argile.

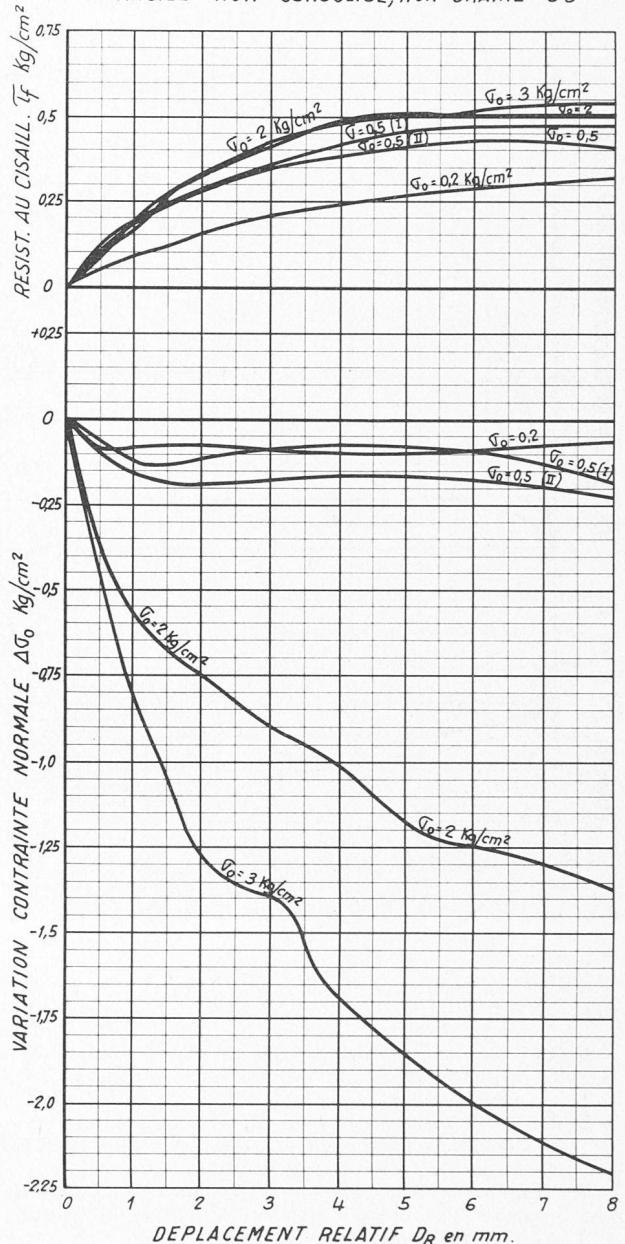


Fig. 20. — Essais UU à volume constant sur de l'argile.

ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT - VOLUME CONSTANT  
ARGILE - NON CONSOLIDE - NON DRAINE - UU

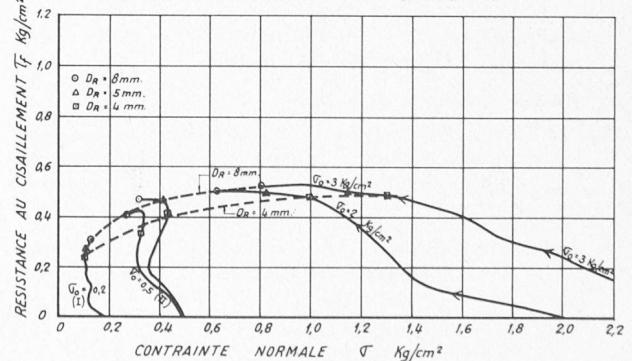


Fig. 23. — Courbe intrinsèque de l'argile — essais UU à volume constant.

ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT - VOLUME CONSTANT

ARGILE - CONSOLIDE DRAINE - CD

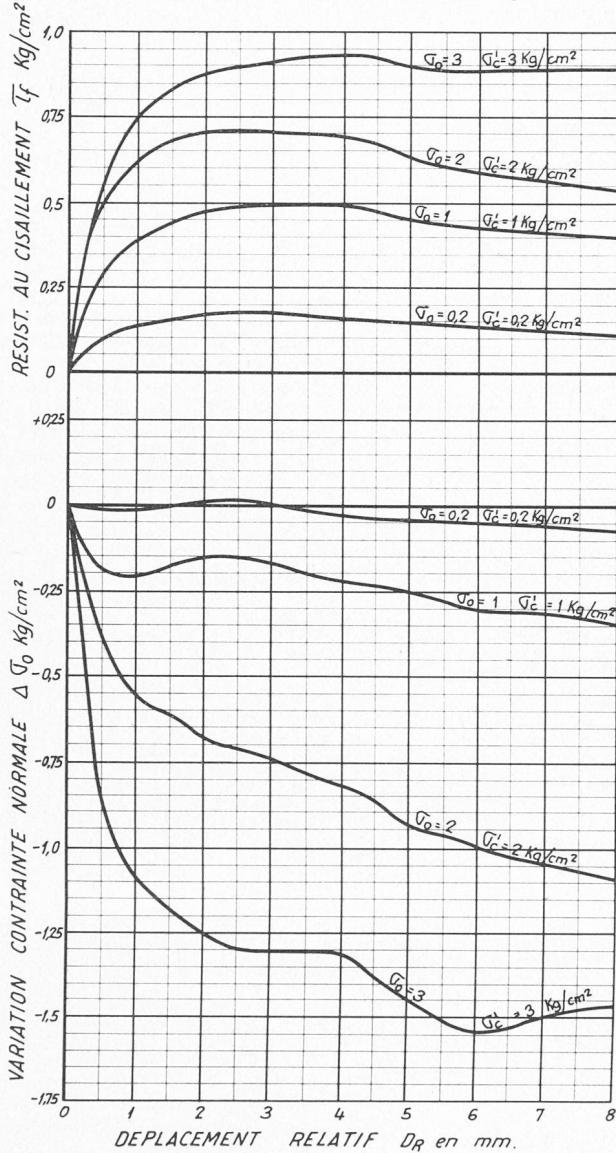


Fig. 22. — Essais CD à volume constant sur de l'argile.

Fig. 19 : Changement de volume à la rupture lors des essais UU, CU et CD en fonction de la contrainte normale totale. On constate pour  $\sigma < 0,5 \text{ kg/cm}^2$  environ, qu'il y a tendance à une augmentation de volume lors du cisaillement des essais UU et CU.

#### B) Essais à volume constant

Fig. 20 : Essais UU à volume constant. Dans la partie supérieure du graphique, la résistance au cisaillement  $\tau_f$  en fonction du déplacement relatif  $D_R$ ; dans la partie inférieure, la variation  $\Delta\sigma_o$  de la contrainte normale initiale  $\sigma_o$ . On remarque le planissement de  $\tau_f$  et la très importante baisse de  $\sigma_o$  pour les fortes charges.

Fig. 21 : Essais CU à volume constant. Par rapport aux essais UU, la résistance au cisaillement augmente, alors que la baisse de  $\sigma_o$  est moins importante.

ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT - VOLUME CONSTANT

ARGILE - CONSOLIDE NON DRAINE - CU rapide

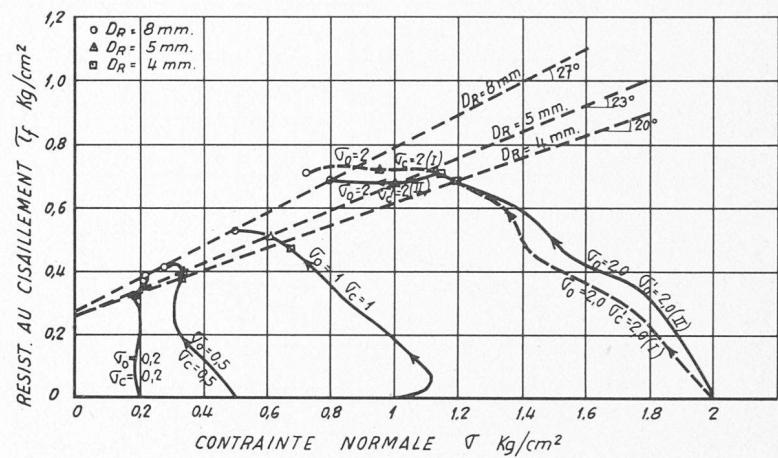


Fig. 24. — Courbe intrinsèque de l'argile — essais CU à volume constant.

Fig. 22 : Essais CD à volume constant. Les essais confirment les résultats des essais à volume variable, à savoir que, malgré la consolidation préalable, il y a tendance à une diminution de volume — ou de la contrainte normale  $\sigma$ , d'autant plus forte que la charge est forte.

Fig. 23 : Essais UU à volume constant. On a donné en traitillé les courbes intrinsèques correspondant à deux déplacements relatifs  $D_R = 4$  et  $8 \text{ mm}$ , et en trait plein le cheminement des coordonnées  $\tau_f$  et  $\sigma$  au cours de l'essai.

Fig. 24 : Essais CU à volume constant. Courbes intrinsèques pour trois déplacements relatifs  $D_R = 4$ ,  $5$  et  $8 \text{ mm}$  et cheminement des coordonnées  $\tau_f$  et  $\sigma$  au cours de l'essai.

Fig. 25 : Essais CD à volume constant. Courbes intrinsèques pour déplacements relatifs  $D_R = 4$  et  $8 \text{ mm}$  et cheminement des coordonnées  $\tau_f$  et  $\sigma$  au cours de l'essai.

ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT - VOLUME CONSTANT  
ARGILE - CONSOLIDE DRAINE - CD

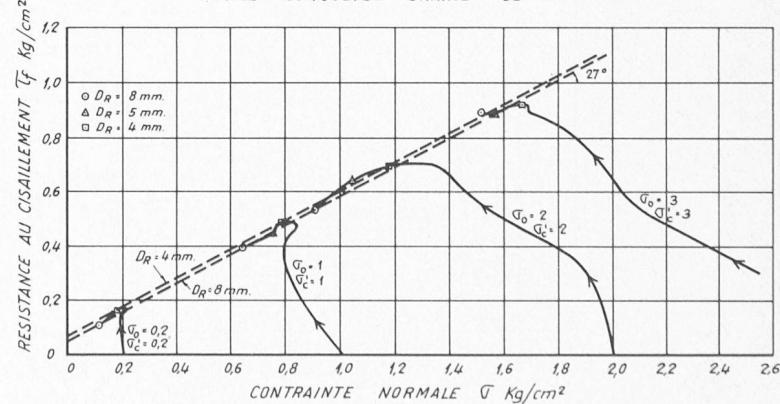


Fig. 25. — Courbe intrinsèque de l'argile — essais CD à volume constant.

ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT SUR ARGILE - NON CONSOLIDE NON DRAINE  
COMPARAISON COURBES INTRINSEQUES VOLUME VARIABLE ET VOL. CONSTANT UU

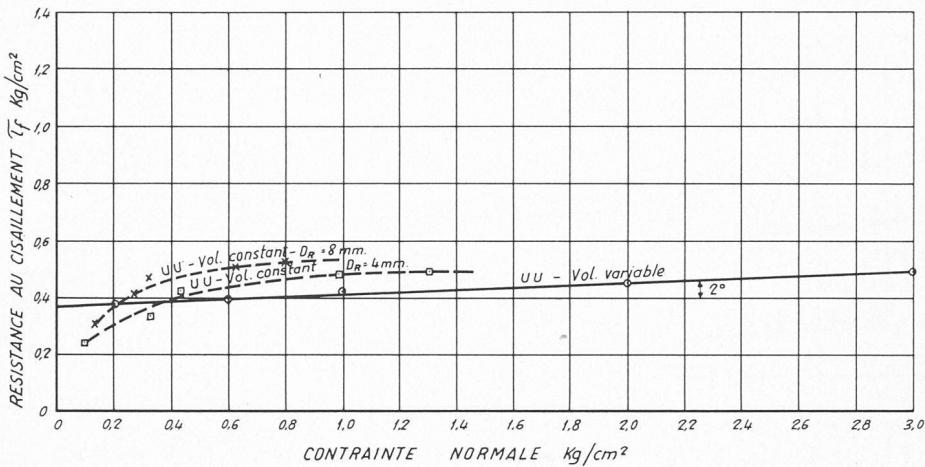


Fig. 26. — Courbes intrinsèques de l'argile — essais UU à volume variable et à volume constant.

ESSAIS DE CISAILLEMENT DIRECT SUR ARGILE - CONSOLIDE NON DRAINE  
COMPARAISON COURBES INTRINSEQUES VOLUME VARIABLE ET VOL. CONST. CU<sub>rapide</sub>

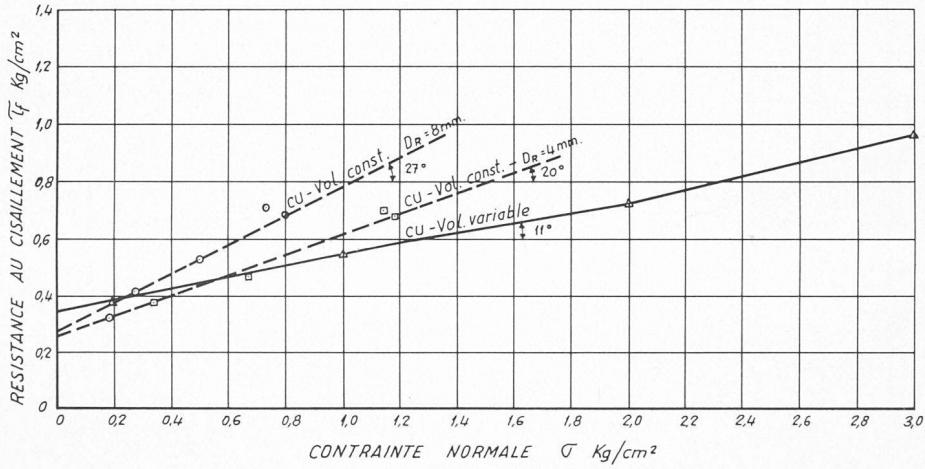


Fig. 27. — Courbes intrinsèques de l'argile — essais CU à volume variable et à volume constant.

ESSAIS DE CISAILLEMENT DIRECT SUR ARGILE - CONSOLIDE DRAINE  
COMPARAISON COURBES INTRINSEQUES VOLUME VARIABLE ET VOL. CONST. CD

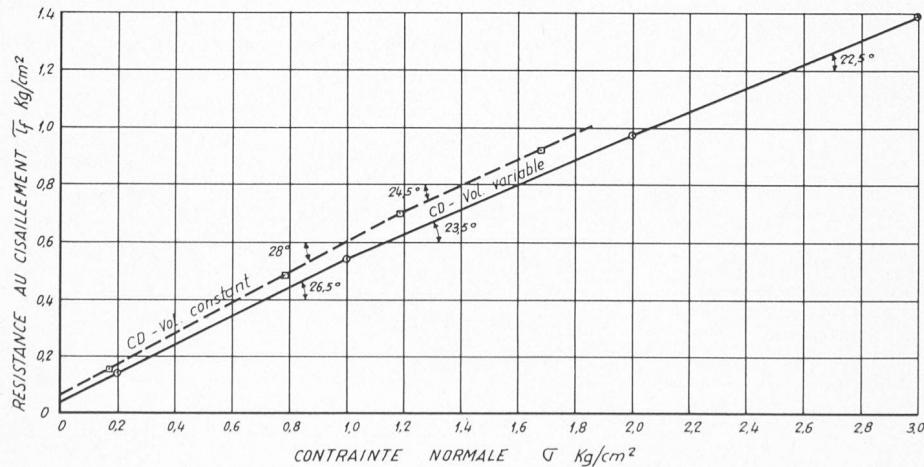


Fig. 28. — Courbes intrinsèques de l'argile — essais CD à volume variable et à volume constant.

Fig. 26 :  
Comparaison des courbes intrinsèques UU à volume variable et à volume constant. Noter le plafonnement de la résistance à volume constant un peu plus haut qu'à volume variable, et la plus faible résistance à volume constant pour les faibles contraintes normales.

Fig. 27 :  
Comparaison des courbes intrinsèques CU à volume variable et à volume constant. Remarquer la résistance supérieure à volume constant, sauf aux faibles contraintes normales.

Fig. 28 :  
Comparaison des courbes intrinsèques CD à volume variable et à volume constant. On note une faible différence des angles de frottement effectifs et de la cohésion effective.

## VIII. Conclusions

L'essai de cisaillement direct à volume variable avec mesure de changement de volume, comme aussi l'essai à volume constant, se complètent pour donner des indications précieuses sur le comportement du sol au cisaillement. Pour les sables, ils donnent une idée de l'indice de vide critique en dessus duquel on risque une liquéfaction. Pour les argiles, ils permettent de savoir à quelle pression normale  $\sigma$  le changement de volume est approximativement nul lors du cisaillement. En dessous de cette contrainte, les résistances des essais UU et CU sont en partie éphémères, en ce sens qu'avec le temps, elles tendent à diminuer. En dessus de cette contrainte, les essais UU et CU donnent des résistances qui ne peuvent qu'augmenter avec le temps en tendant vers les résistances CD.

Précisons, pour terminer, qu'il y a lieu de distinguer au moins trois causes aux pressions interstitielles dans le sol :

- A) la présence d'une nappe aquifère ;
- B) un changement ou une modification de contrainte qui tend à provoquer la consolidation (positive en cas de surcharge, négative en cas de décharge) ;
- C) la tendance du sol à changer de volume lors du cisaillement.

Ces trois types de surpressions ou de dépressions interstitielles peuvent se superposer.

Dans les sols perméables, il n'y a, en général, lieu de tenir compte que des pressions interstitielles du type A) (nappe), sauf si la charge appliquée ou le cisaillement se produit rapidement, par exemple lors d'un tremblement de terre, ou alors si la masse saturée est d'une grande étendue.

Dans les sols argileux et les sols peu perméables, les trois types A), B) et C) se superposent fréquemment, et la pression interstitielle du type C) consécutive au cisaillement prend toute son importance, soit qu'elle améliore temporairement la résistance (argile surconsolidée, cohésion temporaire mesurée dans les essais UU ou les essais de compression sur cylindre non fretté), soit qu'elle réduise la résistance disponible. La difficulté est de connaître la pression interstitielle  $u$  à introduire dans les calculs de stabilité. Il semble aujourd'hui que la combinaison d'essais de cisaillement à volume variable et à volume constant doit permettre de mieux connaître les phénomènes associés au cisaillement et de réduire les marges d'incertitude qui sont encore l'apanage des problèmes de stabilité.

## BIBLIOGRAPHIE

**Les bases des servomécanismes**, par Ed. Bukstein. Traduit de l'américain par Albert Lefèvre. Paris, Editions Eyrolles, 1967. — Un volume  $16 \times 25$  cm, 200 pages, 128 figures. Prix : relié, 29.80 F.

Les théoriciens et les techniciens spécialistes des systèmes asservis disposent actuellement d'une abondante littérature relative à cet aspect moderne de la technique.

En revanche, il existe peu d'ouvrages élémentaires destinés à initier les ingénieurs et les techniciens non spécialisés qui sont confrontés, de plus en plus fréquemment, à des problèmes de servomécanismes pour la résolution desquels ils ne sont pas, ou peu, préparés techniquement.

Le livre de Ed. Bukstein répond tout à fait à un tel besoin chez de très nombreux ingénieurs et techniciens.

Sans faire usage d'un appareil mathématique complexe, l'auteur décrit, en détail et soigneusement, la technologie et les composants des différentes parties constitutives d'un asservissement. L'ouvrage abonde d'exemples chiffrés par lesquels le lecteur fait l'acquisition indispensable à toute réflexion : l'ordre de grandeur.

Les fonctionnements sont décrits d'un point de vue physique. La compréhension des raisonnements fait surtout appel au bon sens et à des notions mathématiques du niveau de la classe de première des lycées.

Le chapitre traitant du problème de la stabilité des asservissements, en particulier, donne clairement les idées générales qui interviennent dans les différentes techniques de stabilisation.

L'ouvrage est divisé en onze chapitres :

Après un premier chapitre d'introduction, l'auteur reprend un par un les éléments de la chaîne d'asservissement. Les chapitres II à IV traitent des détecteurs d'erreurs, c'est-à-dire des écarts entre la consigne imposée à l'asservissement et le résultat de son action. Le chapitre V décrit les principaux correcteurs d'erreurs, tandis que les chapitres VI à IX détaillent les différents types d'amplificateurs assurant la liaison entre le détecteur et le correcteur. Les chapitres X et XI concernent le problème de la stabilité des servomécanismes et les applications de ceux-ci.

L'ouvrage de Ed. Bukstein est destiné aux ingénieurs non spécialisés en asservissements et aux agents techniques électroniciens. C'est pourquoi l'auteur a, dans son ouvrage, davantage mis l'accent sur les principes de fonctionnement des servomécanismes que sur les méthodes de calcul et sur les processus de construction qui intéressent des spécialistes seuls.

C'est en cela que ce livre constitue un apport des plus intéressants à une littérature technique déjà abondante, mais jusqu'à présent incomplète.

### Sommaire :

Systèmes de commande à boucle fermée, principes et composants des servomécanismes. Détection d'erreurs par potentiomètres. Capteurs : de position, de température, de pression, de débit, de contrainte, d'humidité. Détection d'erreurs par synchros. Correcteurs d'erreur : différents types de servomoteurs. Amplificateurs d'erreur : différents types continus et alternatifs, à tubes à vide et à transistors. Amplificateurs magnétiques. Amplificateurs à machines tournantes : groupe Ward-Léonard, amphidyne. Stabilité des servomécanismes : différentes méthodes de stabilisation. Applications : enregistrement ou mesures de pression, poids, tensions. Radiocompas, pilote automatique. Servomécanismes de calcul.

**Photométrie, éclairage intérieur et extérieur**, par Merry Cohu, chargé de conférences à l'ESE, ingénieur ITN et ESE, docteur ès sciences. Editions Masson & Cie, Paris, 1966. — Un volume  $16,5 \times 24,5$  cm, 234 pages, 234 figures. Prix : 48 fr. 25.

Cet ouvrage est destiné, d'une part aux ingénieurs spécialistes de l'éclairage, et, d'une façon plus générale, à l'enseignement de la photométrie et de l'éclairage ainsi qu'à celui de questions qui s'y rattachent plus particulièrement. L'éclairage artificiel est de plus en plus utilisé dans la vie moderne et ceux qui doivent s'y intéresser, même accessoirement, sont toujours plus nombreux (architectes, urbanistes, industriels, etc.).

L'auteur du présent ouvrage a jugé utile de faire bénéficier des connaissances recueillies au cours de longues années d'enseignement, de pratique de bureaux d'études et de travaux de laboratoire de photométrie, ceux qui sont désireux de mieux connaître la technique de l'éclairage ou de parfaire leurs connaissances en cette matière.