

# 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.*

# Compressibilité des sols argileux entre $10^1$ et $10^8$ Pa

## Compressibility of clayey soils between $10^1$ and $10^8$ N/m<sup>2</sup>

J. BIAREZ, Professeur, Ecole Centrale de Paris, Châtenay-Malabry, France

J.M. FLEUREAU, Chef de Travaux, Ecole Centrale de Paris, Châtenay-Malabry, France

M.I. ZERHOUNI, Chercheur, Ecole Centrale de Paris, Châtenay-Malabry, France

**RESUME** Les mesures effectuées au moyen d'un très grand nombre d'appareils ont permis d'établir la loi de compressibilité d'un sol argileux normalement consolidé ou surconsolidé entre  $10^1$  et  $10^8$  Pa, et de montrer la cohérence des méthodes utilisées, que celles-ci appartiennent au domaine des sols à pression interstitielle positive ou négative.

### INTRODUCTION

Il est nécessaire d'utiliser plusieurs techniques expérimentales si l'on veut étudier la loi de compressibilité des sols argileux depuis les dépôts sédimentaires dans les premiers centimètres des sols marins (vases portuaires :  $e=1$  à  $10$ ) jusqu'aux argiles très denses ( $e=0,1$ ) des forages pétroliers à plusieurs kilomètres de profondeur.

Entre  $10^4$  et  $10^8$  Pa, les essais oedométriques ou isotropes sont les plus faciles à réaliser. Entre  $10$  et  $100$  Pa, il est possible de recourir à des mesures de densité en fin de sédimentation. Pour les valeurs intermédiaires, de  $10^2$  à  $10^5$  Pa, les techniques précédentes ne permettent pas d'effectuer des mesures fiables; on peut alors utiliser les méthodes d'imposition ou de mesure des pressions interstitielles négatives développées pour l'étude des chemins de drainage-humidification : tensiomètres ou plaques tensiométriques, cellules à pression d'air, psychromètres, etc.

### SOLS NORMALEMENT CONSOLIDÉS

#### Chemins oedométriques et isotropes

Les deux chemins permettent d'obtenir, moyennant certaines précautions (frettage, frottements) des déformations homogènes des échantillons. Dans le domaine usuel de contraintes ( $10^4$  à  $10^6$  Pa), ils se traduisent par deux droites parallèles, de pente  $C_c$  dans l'espace  $e-\lg p'$ .

Pour les fortes contraintes ( $p' \geq 5$  MPa), la linéarité de la courbe n'est plus vérifiée (Fig. 1), l'indice des vides tendant asymptotiquement vers une valeur minimale.

Lors des essais de sédimentation, l'argile se trouve dans les conditions oedométriques. On retrouve approximativement, par exemple par gammamétrie, les valeurs de teneur en eau ( $3$  à  $4 w_L$ ) observées en général dans les premiers centimètres des dépôts sédimentaires. On note également aux faibles contraintes l'existence d'une asymptote horizontale à la courbe  $e(\lg p')$  et un écart important par rapport à la droite isotrope.

#### Chemins de drainage (à pression négative)

Si l'on part de sols saturés, on constate, comme

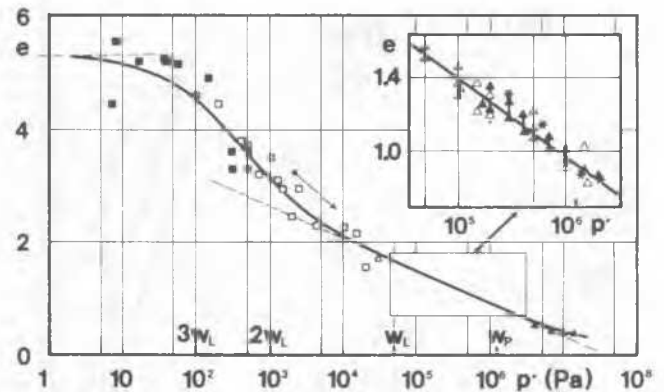


Fig. 1. Compressibilité de la kaolinite saturée normalement consolidée (■: Sédimentométrie; □: Plaques tensiométriques; △: Cellules de Richards; \*: Psychromètres; ▲: Triaxiaux isotropes).

BLIGHT (1966) et FREDLUND (1985), que le chemin de drainage est peu différent du chemin isotrope entre  $10^3$  et  $10^6$  Pa (Fig. 1). Il peut donc être obtenu, en première approximation, à partir des corrélations usuelles de  $C_c$ . Par ailleurs, pour les essais oedométriques, la droite passe généralement par les points  $\sigma'_v = 7$  kPa pour  $w = w_L$  et  $\sigma'_v = 800$  kPa pour  $w = w_P$ . Dans ce domaine où le matériau reste saturé, on peut étendre aux pressions interstitielles négatives la notion de contrainte effective de Terzaghi (BIAREZ et al., 1988) :

$$\sigma' = \sigma - u$$

Pour les pressions supérieures, en valeur absolue, à la pression de désaturation (environ 1 MPa pour la kaolinite), l'indice des vides de l'argile tend vers une valeur constante et les deux courbes de drainage  $e(pF = \lg(-u))$  et  $w(pF)$  se séparent de la courbe isotrope (Fig. 2). On remarque également la cohérence des mesures effectuées au moyen de techniques et d'appareils très différents les uns des autres, et notamment des psychromètres.

## SOLS SURCONSOLIDÉS

## Chemins isotropes et oedométriques

Sur les chemins de décompression-recompression isotropes, le sol a un comportement quasi-élastique (BIAREZ, 1962). La pente  $K$  ( $K=2,3C_g$ ) des cycles, qui varie avec la contrainte dans un diagramme  $e-\ln p'$ , devient sensiblement constante dans un diagramme bi-logarithmique  $\ln e-\ln p'$  (NASKOS, 1985). Il s'agit donc d'une élasticité non linéaire dérivée de la loi de Hertz (BIAREZ and HICHER, 1987). En revanche, les cycles oedométriques ne sont généralement pas réversibles, le déchargement provoquant l'entrée en plasticité du matériau (ZERVOYANNIS, 1982).

## Chemins de drainage et d'humidification

Sur la Fig. 2 ont été reportés les chemins d'humidification obtenus en imposant ou en mesurant

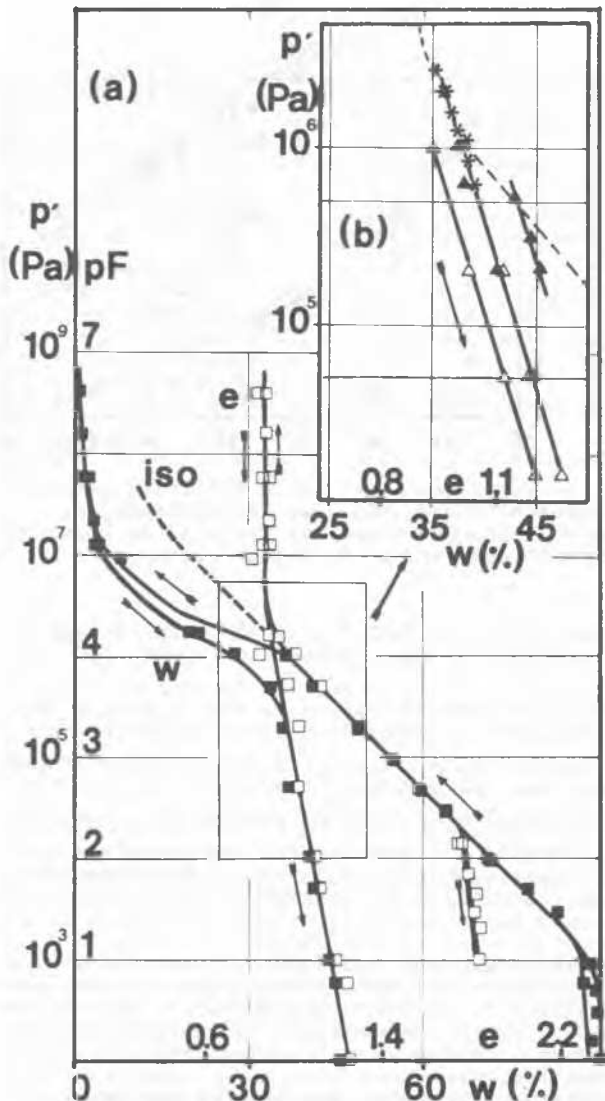


Fig.2 (a) Courbes de pF:  $e(pF)$  ( $\square$ ) et  $w(pF)$  ( $\blacksquare$ ); (b) Décharges isotropes ( $\blacktriangle$ ) et Humidifications ( $\triangle$ : pression imposée - \*: psychromètres).

(par psychromètres) la pression interstitielle négative de l'eau d'une part, les chemins de déchargement isotropes d'autre part : on constate que les courbes sont sensiblement parallèles. On observe par ailleurs une bonne réversibilité des cycles de drainage-humidification dans le domaine où le sol est saturé.

Les méthodes utilisées pour imposer un pF (tensiométrie, osmose) créent souvent des déformations moins homogènes que les méthodes isotrope et oedométrique à cause de la présence de membranes semi-perméables rigides, et ceci d'autant plus que la hauteur des échantillons est faible. Pour obtenir une déformation homogène permettant la mesure de la loi de comportement du sol, il faut donc que la surface de contact soit petite. Cette condition d'homogénéité a conduit à développer une famille d'appareils (triaxiaux avec antifretage et oedomètres) dans lesquels la pression est mesurée par des sondes psychrométriques WESCOR (BRUCKLER, 1984) fixées au contact des échantillons (Fig.3). Le fait de mesurer, plutôt que d'imposer, la pression présente en outre l'avantage de pouvoir étudier le comportement du sol sur des chemins plus proches de la réalité.

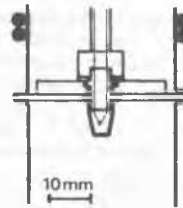


Fig.3. Montage des sondes psychrométriques WESCOR dans les cellules triaxiales avec antifretage

## CONCLUSION

Dans l'espace  $e-\lg p'$ , la loi de compressibilité d'un sol saturé normalement consolidé présente, entre 0,05 et 5 MPa, une partie linéaire où les chemins isotrope et de drainage sont pratiquement confondus. La loi linéaire n'est plus valable, ni aux faibles, ni aux fortes contraintes, la courbe présentant alors deux asymptotes horizontales. De même, on constate que les chemins de déchargement isotrope et d'humidification sont sensiblement parallèles. Ainsi, dans le domaine où l'argile reste saturée, les courbes de pF peuvent être estimées, en première approximation, à partir d'essais isotropes ou des corrélations usuelles.

## REFERENCES

- BIAREZ, J., (1962). Thèse Université Grenoble.
- BIAREZ, J., FLEUREAU, J.M., ZERHOUNI, M.I., SOEPANDJI, B., (1988). Rev. Fr. Géotechn. (41), 63-71.
- BIAREZ, J. and HICHER, P.Y., (1987). Workshop on Constitutive Models for Granular and Noncohesive Materials, Cleveland.
- BLIGHT, G.E., (1966). J. Soil Mech. Found. Div. ASCE (92), SM6, 19-38.
- BRUCKLER, L., (1984). Agronomie (4), 2, 171-182.
- FREDLUND, D.G., (1985). Proc 11th ICSMFE (9C), San Francisco.
- NASKOS, B., (1985). Thèse Ecole Centrale Paris.
- ZERVOYANNIS, C., (1982). Thèse Ec. Cent. Paris.