

Emploi d'une méthode psychrométrique dans des essais triaxiaux sur un limon remanié non saturé:¹ Discussion

JOHN MORRISON AND DELWYN G. FREDLUND

University of Saskatchewan, Saskatoon, Sask., Canada S7N 0W0

Received February 21, 1979

Accepted February 28, 1979

Can. Geotech. J., 16, 614-615 (1979)

Jean-Claude Verbrugge has conducted an interesting series of strength tests on unsaturated soils. The mounting of thermocouple psychrometers in laboratory equipment brings the testing of unsaturated soils into a viable range even for commercial testing. However, further research is still required to resolve some of the difficulties associated with both the procedure and interpretation of data.

In 1974, Johnson performed a series of tests similar to those performed by Jean-Claude Verbrugge. Their results show considerable scatter in the data. Although the procedure appeared promising, they concluded that there were difficulties in getting reliable results. Most of their scatter appeared to be due to limited temperature control in the vicinity of the psychrometer.

The psychrometers used by Jean-Claude Verbrugge employed massive heat sinks to dissipate the heat generated at the reference junction during the Peltier cooling process. Temperature fluctuations had to be controlled to within 0.001°C in order to obtain accurate results.

In 1970, Hsieh and Hungate introduced a temperature-compensated thermocouple psychrometer that did not require massive heat sinks or the extreme control of ambient temperature fluctuations. The temperature-compensated psychrometer consisted of two identical thermocouples in close proximity. The thermocouples could be used separately or connected in opposite polarity to automatically cancel extraneous current caused by ambient temperature fluctuations. Similar temperature-compensated thermocouple psychrometers are now commercially available.²

Jean-Claude Verbrugge used the following equation, which relates the total soil suction to the water vapor pressure in the proximity of the soil sample:

$$[1] \quad s = (RT/gM) \ln (p/p_0)$$

where s = total soil suction expressed in cm of water; R = universal gas constant; T = absolute temperature; g = gravitational acceleration; M = molecular mass of water; p = measured vapor pressure; and p_0 = vapor pressure over pure water.

He explains that the psychrometer can be used to determine p/p_0 and therefore enable the evaluation of s . However, he then equates the measured total suction to the matrix suction ($u_a - u_w$) without considering the osmotic component. It is possible that in some soils the osmotic component is small and the above equivalence applies. However, in general, the total suction must be taken as being equal to the osmotic component plus the matrix component (Aitchison 1965; Krahn and Fredlund 1972). It should also be noted that for many soils the change in the osmotic component is small and therefore a measured change in the total suction can be equated to a change in the matrix suction.

Jean-Claude Verbrugge has used the suction values measured prior to applying the deviator stress in his analysis of the data. However, this value of suction is different from that acting at the point of failure of the sample. The discussors would encourage the author to measure suction throughout all the strength tests (as was done for the results shown in Fig. 4). The discussors would also encourage the author to account for the osmotic suction component and then interpret the shear strength of the soil using the procedure outlined by Fredlund *et al.* (1978). If this were done, there would be no need to attempt to use the non-unique χ parameter.

The following clerical errors or misprints were noted while reviewing the above paper. (i) On page 503 on the discussion of the sensitivity of the chromel-constantan thermocouples the following errors were noted. If the number 3.5 $\mu\text{V}/\text{Pa}$ is correct, then the bracketed portion (0.35 $\mu\text{V}/\text{bar}$) should read (0.35 V/bar) and 35 nV should read 35 mV. (ii) On

¹Paper by J.-C. Verbrugge. 1978. Can. Geotech. J., 15(4), pp. 501-509.

²EMCO Co. Ltd., Angola, IN.

page 506, the captions for Figs. 5 and 6 are interchanged.

The discussors wish to encourage the author to continue this laboratory research since it has good potential not only for shear strength testing but also for volume change testing.

ITCHISON, G. 1965. Statement of the review panel, engineering concepts of moisture equilibria and moisture changes in soil. Moisture Equilibria and Moisture Changes in Soils beneath Covered Areas, Symposium in Print, Butterworth, Sydney, N.S.W., Australia.

FREDLUND, D. G., MORGENSTERN, N. R., and WIDGER, R. A. 1978. The shear strength of unsaturated soils. *Canadian Geotechnical Journal*, **15**, pp. 313-321.

HSIEH, J. J. C., and HUNGATE, F. P. 1970. Temperature compensated Peltier psychrometer for measuring plant and soil water potentials. *Journal of Soil Science*, **110**(4), pp. 253-257.

JOHNSON, L. D. 1974. Psychrometric measurement of total suction in a triaxial compression test. U.S. Army Engineer Waterways Experimental Station, Vicksburg, MS, Miscellaneous Paper 5-74-19.

KRAHN, J., and FREDLUND, D. G. 1972. On total, matrix and osmotic suction. *Journal of Soil Science*, **114**(5), pp. 339-348.

Emploi d'une méthode psychrométrique dans des essais triaxiaux sur un limon remanié non saturé:¹ Réponse

J. C. VERBRUGGE

Ecole Polytechnique, Faculté des Sciences Appliquées, Université Libre de Bruxelles, Avenue Adolphe Buyl, 87, 1050 Bruxelles, Belgique

Reçu le 2 avril 1979

Accepté le 4 avril 1979

Can. Geotech. J., **16**, 615-616 (1979)

John Morrison et Delwyn Fredlund ont fait des commentaires et des suggestions très intéressants et pertinents; l'auteur tient à les en remercier ainsi que pour leurs encouragements.

La majeure difficulté dans l'emploi des psychromètres provient de ce qu'il y a lieu de protéger la jonction du thermocouple, sans que cette protection ne puisse constituer un frein pour les échanges hydriques et thermiques entre le sol et la jonction. C'est généralement là qu'il faut rechercher la cause de la dispersion dans les mesures. Rawlins et Dalton (1967) ont effectué à ce sujet une étude très intéressante qui pose, de façon claire, le problème du contrôle de la température et celui du rôle de l'élément de protection du thermocouple qui est le plus souvent un bulbe de céramique. L'auteur n'a pas retenu cette solution; il a préféré utiliser une aiguille perforée de trous latéraux dont l'effet retardateur sur les échanges est négligeable comparé à celui de la céramique. Ce choix a eu pour conséquence de ne pas permettre un montage similaire à celui de Hsieh et Hungate (1970) ou de Milar *et al.* (1970). En effet, vu le faible diamètre de l'aiguille, il était difficile d'y loger plus d'un thermocouple tout en empêchant qu'elles ne soient trop proches pour s'influencer mutuellement.

¹Discussion par J. Morrison et D. G. Fredlund. 1979. *Can. Geotech. J.*, **16**(3), pp. 614-615.

Si le psychromètre mesure la succion totale, il existe des techniques expérimentales pour la séparer en ses deux composantes: la succion matricielle et l'effet d'osmose (Richards et Ogata 1961; Oster *et al.* 1968; Verbrugge 1974, 1976). Dans le cas présent, la composante osmotique s'est avérée être négligeable.

Contrairement à ce que semblent croire Morrison et Fredlund, des mesures similaires à celles de la Fig. 4, ont été effectuées chaque fois que cela s'est avéré possible. Toutefois, l'auteur a préféré établir ses relations [15] et [17] en fonction de la succion initiale, car il s'agit de formules proposées pour permettre l'évaluation de χ sans devoir passer par un essai complet, tout comme c'est le cas pour les relations [11] et [12]. Dans cette optique, il est évident que la corrélation n'a de sens que si elle fait intervenir la succion initiale, dont la détermination au moyen d'un psychromètre est rapide et aisée.

L'auteur regrette qu'au moment de la rédaction de son article, il n'ait pas eu connaissance de celui, très intéressant, de Fredlund *et al.* (1978). Actuellement, il détermine à la fois χ , ϕ^b et ϕ'' . Bien que ne disposant pas encore suffisamment de résultats pour en tirer une loi de variation, il a constaté que ϕ^b et ϕ'' ne sont pas uniques pour un sol donné, mais varient avec S , w ou s , au même titre que χ .

En ce qui concerne la faute typographique de la page 503, il fallait lire 3.5 pV/Pa, la valeur entre parenthèses étant correcte.