

MESURE AUTOMATIQUE DE LA RETRACTION D'ECHANTILLONS DE SOL NON REMANIES

E. BRAUDEAU ⁽¹⁾

RESUME

Le « rétractomètre » présenté est un appareillage assisté par micro-ordinateur, qui mesure le retrait en fonction du temps, c'est-à-dire la rétraction, d'un échantillon de sol non remanié en cours de séchage. On montre ensuite comment les courbes de retrait et d'entrée d'air sont facilement déduites de la courbe de rétraction. La précision avec laquelle ces différentes courbes sont obtenues est très grande et permet de penser à leur utilisation comme mesure de routine à des fins de caractérisation agronomique.

INTRODUCTION

La courbe de retrait, qui exprime la variation de volume d'un échantillon de sol en fonction de sa teneur en eau, est connue depuis longtemps en pédologie (HAINES, 1923, LAURITZEN, 1948). Elle reflète l'interaction entre la structure — à géométrie déformable — de l'échantillon, et l'eau qui s'y trouve à un état énergétique variable (TESSIER, 1984, BRUAND, 1985), mettant ainsi en évidence certains systèmes de porosité et les points caractéristiques du comportement structural : limite d'entrée d'air, limite de retrait... (LAURITZEN et STEWART, 1941, STIRK, 1954, QUIRK et PANABOKKE, 1962, NEWMAN et THOMASSON, 1979).

Ce lien étroit que l'on constate entre la courbe de retrait et la structure de l'échantillon laisse prévoir une possibilité d'application agronomique ou cartographique très intéressante qui serait la caractérisation qualitative et quantitative de la structure d'agrégats ou de mottes de sol (REEVE et HALL, 1978, CHAN, 1982). Cependant les difficultés de mesure n'ont pas permis jusqu'à présent, malgré une diversité de méthodes, l'usage courant de telles courbes. C'est pourquoi nous présentons ici un moyen d'accéder indirectement mais automatiquement et avec une grande précision, aux courbes de retrait et d'entrée d'air échantillons de sol non remaniés. Ceci par la mesure en continu de la rétraction (retrait en fonction du temps) de ces échantillons en cours de séchage.

I. - MATERIEL ET METHODES

A) Appareil de mesure

L'appareillage (fig. 1) est constitué d'une balance électronique* reliée à un micro-ordinateur**, et d'un bras mobile terminé par une pointe jouant le rôle de palpeur.

* Balance Sartorius 1264001, munie d'une sortie numérique et d'un convertisseur RS 232. Précision de lecture 0,01 g.

** Micro-ordinateur CANON X 07 avec l'interface RS 232.

(1) O.R.S.T.O.M. - Centre de Brazzaville - B.P. 181 - Brazzaville (Congo).

Mots clés : courbe de retrait, courbe d'entrée d'air, comportement structural.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire 9 M

N° : 23899 41

Cote : B. ~~23899~~

Date 870902

Ce bras se déplace verticalement le long de la crémaillère, au-dessus du plateau de la balance et est actionné par un moteur pas à pas de grande précision, lui-même commandé par le micro-ordinateur.

L'expérimentation s'effectue en enceinte fermée thermostatée à 28° C et l'humidité relative fixée à 45 %.

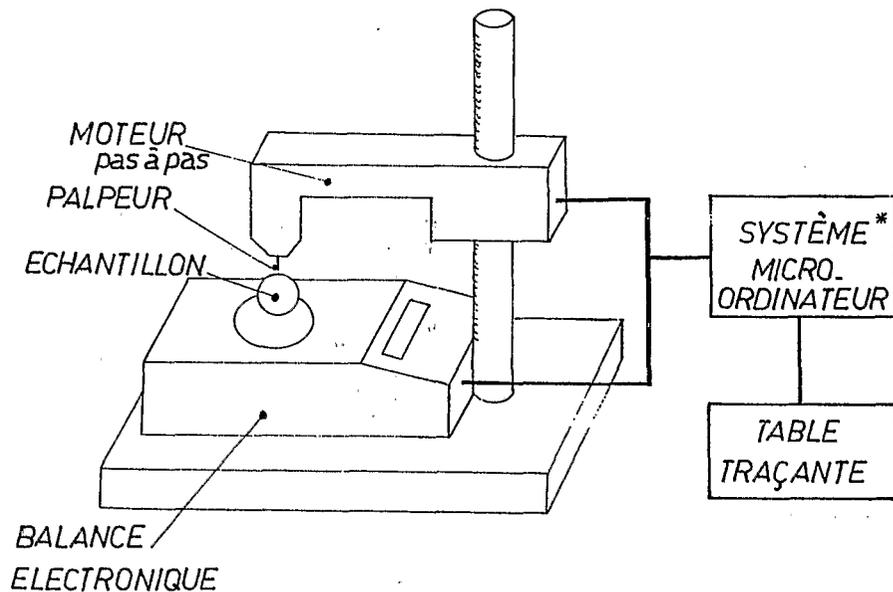


Figure 1 : Appareillage de mesure de la rétraction et de l'évaporation d'un échantillon de sols en cours de séchage.

Apparatus to measure the retraction of a soil core sample during drying.

L'échantillon est posé sur le plateau de la balance, au-dessous du palpeur et une mesure du poids et du retrait est effectuée par le micro-ordinateur toutes les cinq minutes. Lors d'une mesure, le micro-ordinateur fait avancer le palpeur pas à pas, en même temps qu'il note le poids donné par la balance entre chaque pas*. La variation brutale du poids au-delà d'un certain seuil (0,04 g) constitue le signal indiquant le contact du palpeur avec l'échantillon. Le palpeur fait alors quelques pas en arrière, alors le poids P de l'échantillon, le nombre de pas cumulés N effectués par le palpeur, et le temps t , sont enregistrés par l'ordinateur. Celui-ci restitue directement les données sous forme de courbes de rétraction $N = f(t)$ et d'évaporation $w = f(t)$ (exemple fig. 3).

B) Le sol étudié

Les échantillons qui ont servi à l'étude, proviennent d'un sol ferrallitique argileux de plateau, qui est suivi en essais agronomiques depuis 1983 au Centre de Recherche Agronomique de Loudima dans la vallée du Niari (E. BRAUDEAU, 1984). Ses caractéristiques psychico-chimiques courantes sont rassemblées dans le tableau I.

** Les déplacements du palpeur peuvent être mesurés avec précision à l'aide d'un comparateur et sont de l'ordre de 5 μm (réglables) entre chaque pas.

MESURE AUTOMATIQUE DE LA RETRACTION D'ECHANTILLONS DE SOL NON REMANIES

Tableau I : Analyses physico-chimiques du profil étudié : sol ferrallitique argileux désaturé du Niari.

Horizons	A	AB	B1
Profondeur cm	0-18	18-28	28-60
Argile %	69,2	72,0	75,5
Limon fin %	9,9	9,2	8,3
Limon grossier %	6,9	6,8	5,8
Sable fin %	10,0	8,9	7,8
Sable grossier %	3,9	3,1	2,6
pH eau	5,4	5,5	5,9
pH KCl	4,4	4,6	5,1
C pour mille	23,86	15,68	
N pour mille	1,73	1,24	
C/N	13,8	12,7	
Ca ⁺⁺ (mé/100 g)	2,52	1,54	1,13
Mg ⁺⁺ (mé/100 g)	0,06	0,03	0
K ⁺ (mé/100 g)	0,14	0,08	0,06
Na ⁺ (mé/100 g)	0,01	0,05	0,05
Somme bases échang.	2,73	1,70	1,24
Cap. Ech. à pH 7	15,5	8,6	6,4

C) Préparation des échantillons de sol

Les échantillons non remaniés sont des cylindres de sol de 3 cm de hauteur et 5,2 cm de diamètre, prélevés à l'aide d'un carottier* spécialement conçu pour préserver la structure du prélèvement aussi intacte que possible.

Le prélèvement de l'échantillon s'effectue perpendiculairement au profil étudié, lequel doit être de préférence humide ou à sa capacité au champ. Les échantillons sont conservés dans leur cylindre fermé hermétiquement jusqu'à leur utilisation ; à ce moment, on provoque un léger séchage qui entraîne un retrait permettant de retirer intact l'échantillon de son cylindre.

La face latérale du cylindre de sol est mise ensuite en contact sur toute sa surface avec de la colle néoprène liquide qui forme, en séchant, une couche protectrice.

Enfin l'échantillon est mis en contact étroit, par l'une de ses bases, avec une plaque poreuse posée sur une lame d'eau pendant un minimum de 3 jours ; il subit ensuite les différents traitements décrits à la fig. 2.

Notons dès à présent que les paramètres à mesurer pour le calcul des courbes de retrait et d'entrée d'air que nous verrons plus loin sont :

— VG le volume de l'échantillon hydraté au maximum, au début de l'expérience au rétractomètre (opération 2, fig. 2) ;

— VA le volume de l'échantillon sec en fin d'expérience (opération 4, fig. 2), après que celui-ci ait atteint sa limite de retrait ;

Ms la masse de la phase solide de l'échantillon dont le calcul est donné ci-dessous.

Pour la mesure de VG, on recouvre les bases de l'échantillon d'une fine couche de paraffine que l'on retire ensuite facilement après avoir mesuré la poussée d'Archimède dans l'eau.

Toutes les données sont ensuite rapportées à la masse de la phase solide de l'échantillon Ms ; il faut donc s'assurer d'un minimum de perte de matière entre les différentes étapes, et le calcul de Ms se fait d'après l'équation suivante :

* Soil core sampler n° 200, Soil Moisture Equipment Corp.

$M_s = \frac{1}{g} (P_4 - P_N) \frac{P_6^*}{P_5}$, où les P indicés sont les poids mesurés aux étapes correspondantes (fig. 2) et P_N le poids de la couche de néoprène lavée et séchée ; g est l'accélération de la pesanteur (1 gf/g).

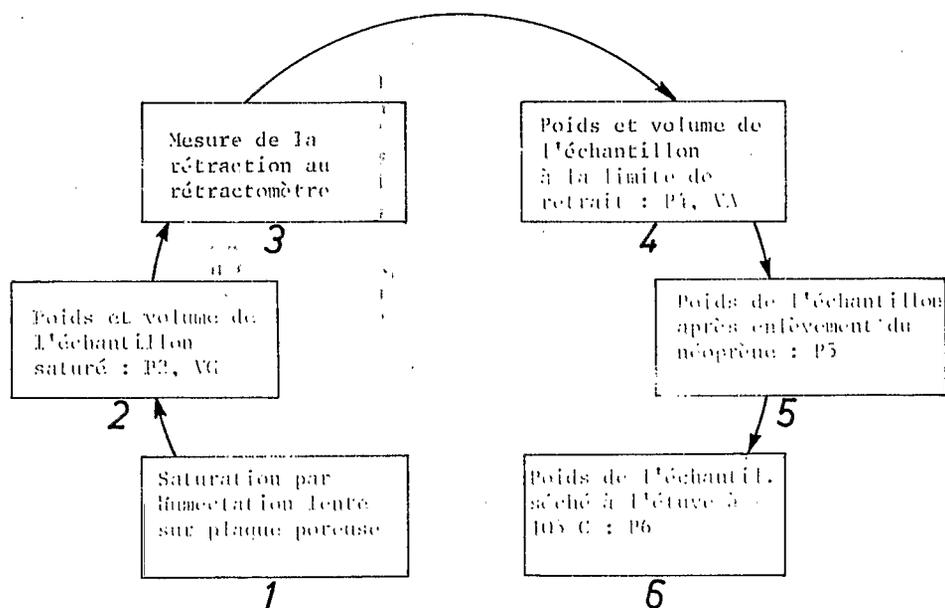


Figure 2 : Organigramme des opérations effectuées sur un échantillon de sol non remanié, pour la mesure de la rétraction en fonction de la teneur en eau.

Successive operations on the soil core sample to measure the shrinking relatively to the water content.

II. - ETABLISSEMENT DES COURBES DE RETRACTION, DE RETRAIT ET D'ENTREE D'AIR

A) Courbes de rétraction et points remarquables

Les courbes de rétraction représentent le retrait de l'échantillon en fonction du temps, c'est-à-dire sa rétraction. Nous les différencions des courbes de retrait qui sont la représentation du retrait lié à la teneur en eau. Un exemple de courbe est donné, fig. 3 où sont tracées simultanément par le micro-ordinateur, la rétraction $N = f(t)$, l'évaporation $\Delta P = f(t)$ et les deux courbes dérivées dont les points sont calculés sur des intervalles d'une demi-heure. L'échelle des humidités est également représentée après que le poids sec de l'échantillon ait été mesuré.

Nous référant au découpage bien connu de la courbe de retrait en différentes phases de retrait (REEVE et HALL, 1978), nous avons divisé de façon analogue la courbe de rétraction en plusieurs domaines dans lesquels la pente de la courbe est constante ou bien varie de façon régulière. Chaque domaine représente bien ici, par définition, un « mouvement » ou comportement particulier de l'échantillon et est

* Cette relation est exacte si, entre les phases 4 et 5, il n'y a pas diminution de la teneur en eau de l'échantillon. La manipulation doit donc se faire rapidement pour éviter une évaporation trop importante.

MESURE AUTOMATIQUE DE LA RETRACTION D'ECHANTILLONS DE SOL NON REMANIES

délimité avec précision par les brusques changements de pente observés sur la courbe dérivée (fig. 3).

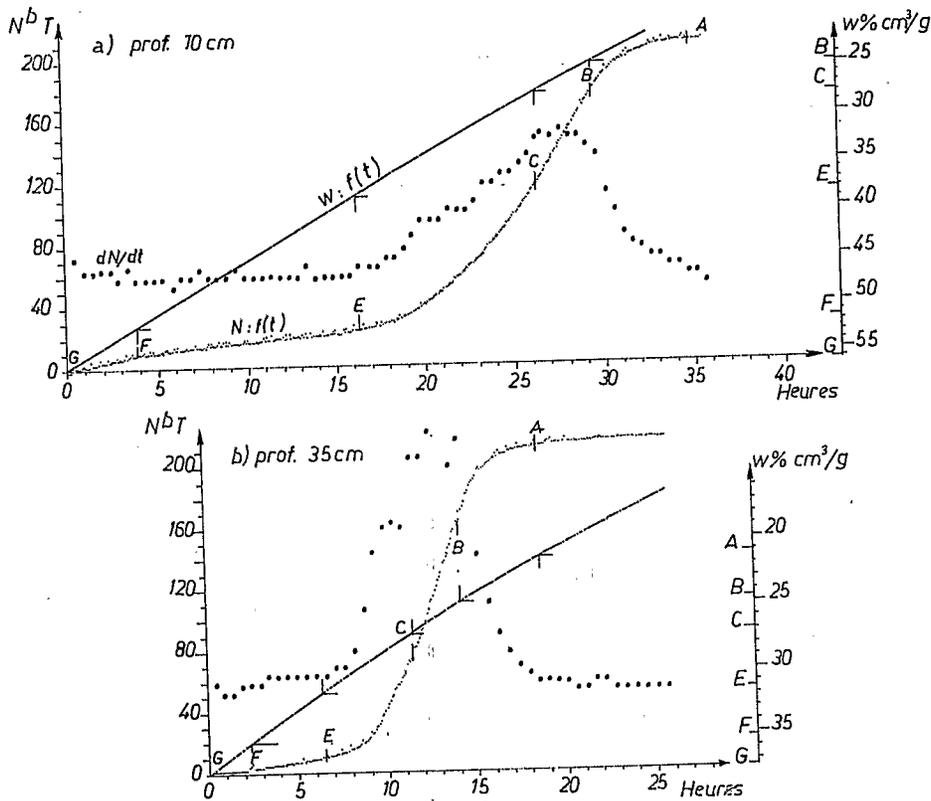


Figure 3 : Exemples de courbes obtenues point par point au rétractomètre :

- $N = f(t)$ courbe de rétraction
- $w = f(t)$ courbe d'évaporation

Les points caractéristiques A, B, C... sont déterminés graphiquement d'après la courbe dérivée dN/dt .

Typical curves obtained with the retractometer :

- $N = f(t)$ shrinking curve
- $w = f(t)$ drying curve

The characteristic points A, B, C... are graphically determined (deduced) from the derived curve.

Ainsi en considérant la courbe dans le sens du dessèchement depuis le temps $t = 0$, on rencontre successivement les points suivants (fig. 3) :

- G point de départ de la manipulation où l'échantillon est saturé...
- F point à partir duquel la pente de la courbe est nulle ou minimum et constante jusqu'en E
- E est le début d'une rétraction croissante et forte, positionnée au pied du pic de la courbe dérivée
- C marque le début d'une rétraction maximale et est donc situé au début du « plateau » que présente la courbe dérivée à son maximum

B est la fin de la rétraction maximale et est placé à la fin du « plateau » de la courbe dérivée

A représente la fin du retrait effectif. A partir de A, la pente de la courbe est nulle ou bien en-dessous d'un certain seuil que l'on choisit arbitrairement.

La signification de ces points ainsi que la description des différents domaines de comportement qu'ils délimitent sera donnée dans un autre article, en comparaison avec les phases de retrait et points caractéristiques des courbes de retrait correspondantes.

B) Courbes de retrait et d'entrée d'air

Les notations utilisées dans les calculs sont les suivantes :

- M_w masse d'eau contenue dans l'échantillon ;
- M_s masse de la phase solide de l'échantillon de sol ;
- V volume total de l'échantillon à un état d'humidité ;
- V_a volume de la phase air de l'échantillon ;
- V_v volume des vides dans l'échantillon ;
- w teneur en eau pondérale = M_w/M_s ;
- ρ_w masse volumique de l'eau ;
- n porosité totale de l'échantillon = V_v/V ;
- n_a porosité occupée par l'air dans l'échantillon (ou encore porosité ouverte à l'air ou d'entrée d'air) = V_a/V ;
- \bar{V} volume massique de l'échantillon = V/M_s ;
- V_G le volume du cylindre de sol saturé en début d'expérience, en G sur la courbe de rétraction ;
- V_A le volume du cylindre de sol sec mesuré après la limite de retrait A, en fin d'expérience ;
- NT le nombre de pas total du palpeur correspondant au retrait total de G en A ;
- N le nombre de pas cumulés du palpeur en un point de la courbe de rétraction.

Pour calculer les courbes de retrait et d'entrée d'air, nous avons besoin de connaître le volume de l'échantillon V en fonction de N mesuré par l'ordinateur. A cet effet, nous supposons que le retrait s'effectue de manière isotrope, hypothèse dont la validité sera discutée plus loin.

Le volume du cylindre s'écrit :

$$V = \pi r^2 h$$

h étant sa hauteur et r son rayon. Soit r_G, r_A, h_G, h_A les rayons et hauteurs de l'échantillon aux points correspondants G et A de la courbe de rétraction. En un point quelconque de celle-ci, d'après l'hypothèse du retrait isotrope,

$$r/r_G = h/h_G$$

et par suite

$$V/V_G = (r/r_G)^3$$

Exprimons r/r_G en fonction de N :

$$N/NT = (r_G - r)/(r_G - r_A)$$

ce qui équivaut à

$$r/r_G = 1 - N \cdot (1 - r_A/r_G) / NT = 1 - N \cdot (1 - (V_A/V_G)^{1/3}) / NT$$

En posant

$$A = 1 - (V_A/V_G)^{1/3}$$

on obtient l'expression de V :

$$V = V_G \cdot (1 - A \cdot N / NT)^3$$

Lorsque A est proche de 0, cas des sols peu gonflants,

$$V = V_G \cdot (1 - 3A^2 \cdot N / NT)$$

Connaissant M_s, nous pouvons alors tracer en fonction de la teneur en eau W, le volume massique $\bar{V} = V/M_s$ ainsi que la porosité ouverte à l'air n_a, laquelle équivaut

au volu
de volu

Les
l'informa
les cou
kaolinite

108

106

104

102

1

0,98

0,96

20

Por

24

20

16

12

8

4

0

20

Figure

MESURE AUTOMATIQUE DE LA RETRACTION D'ECHANTILLONS DE SOL NON REMANIES

au volume d'eau évaporé depuis l'état saturé moins le volume rétracté, par unité de volume, soit :

$$n_a = [(W_G - W) \cdot \rho_w - (\bar{V}_G - \bar{V})] / V$$

Les courbes sont tracées point par point par le micro-ordinateur conservant toute l'information et la précision des courbes de rétraction. La figure 4 présente en exemple les courbes de retrait et d'entrée d'air des horizons A et B1 du sol argileux à kaolinite dont les courbes de rétraction sont données à la figure 3.

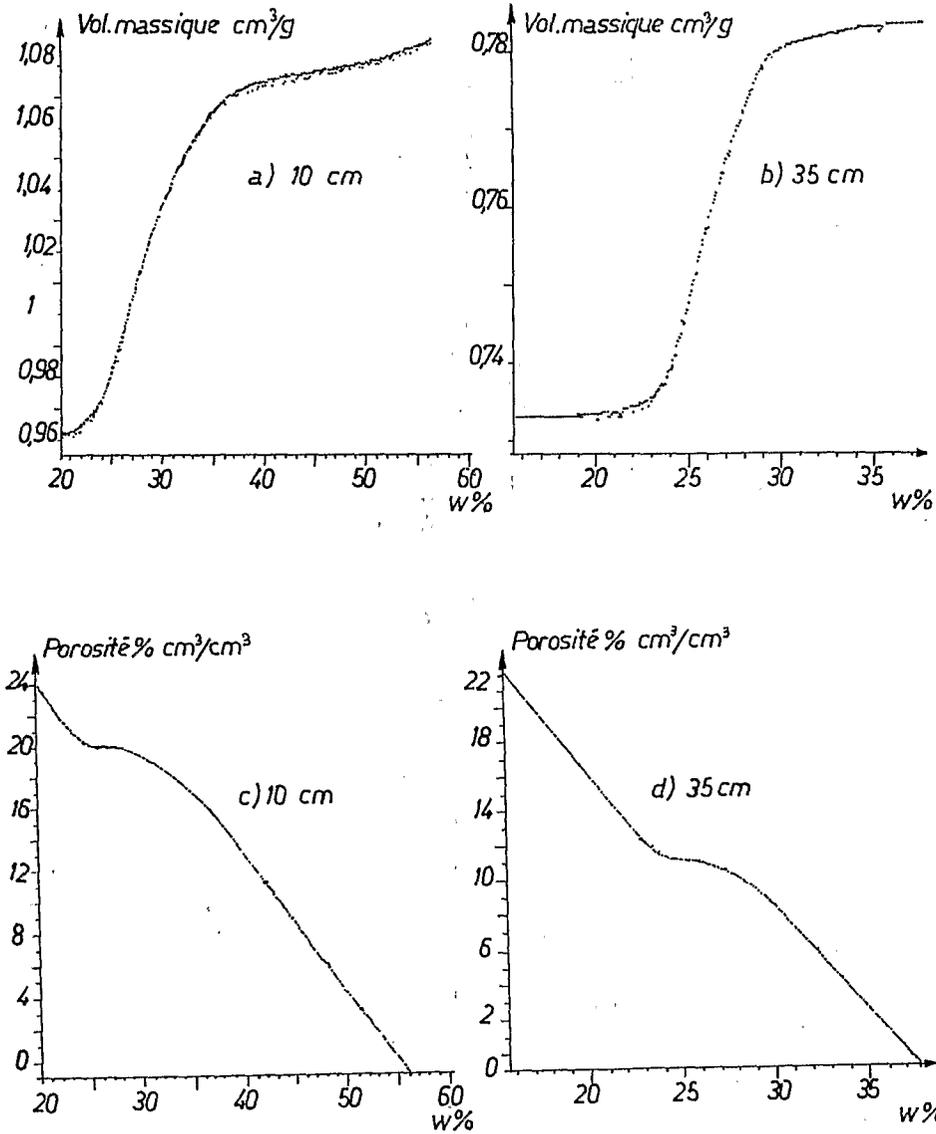


Figure 4 : Exemple de courbes de retrait (a, b) et de porosité ouverte à l'air (c, d), calculées à partir des courbes de rétraction à la figure 3.

Shrinkage (a, b) and air intake (c, d) curves, deduced from the retraction curves on figure 3.

III. - DISCUSSION

L'hypothèse d'isotropie du retrait, qui nous permet de calculer les courbes de retrait et d'entrée d'air à partir de la courbe de rétraction a beaucoup plus de chance d'être vraie pour les faibles teneurs en eau que pour les plus grandes. En effet, l'isotropie du retrait est liée à l'isotropie du système poral concerné par le départ d'eau pendant le dessèchement. On sait que plus les pores sont fins, plus leur distribution peut être considérée comme isotrope dans le volume de sol étudié, sauf dans le cas particulier où une orientation préférentielle des argiles s'est réalisée au sein d'un horizon par pédogenèse. Quant aux plus gros pores, racinaires ou fauniques, leur distribution n'est généralement pas isotrope mais cela n'a que peu d'importance sur les calculs de volume car on se situe dans un domaine de comportement (F-E sur la courbe fig. 3) où le retrait est faible à nul, reflétant la relative stabilité de la macroporosité par rapport aux propriétés de déformation de la microporosité (NEWMAN et THOMASSON, 1979). Quoi qu'il en soit, un moyen d'évaluer l'anisotropie du retrait serait de comparer la valeur de (VG-VA) mesurée, comme dans le cas présent, avec celle calculée d'après l'hypothèse du retrait isotrope selon laquelle

$$VG/VA = (rG/rA)^3$$

Connaissant VA, et le déplacement total Δl du palpeur, on a : $\Delta l = 2.(rG-rA)$ et par suite la valeur calculée de (VA-VG) ; $VG-VA = VA. [(l/rA + 1)^3 - 1]$.

CONCLUSION

L'appareil présenté ici, appelé rétractomètre, fournit automatiquement et avec une grande précision, les courbes de rétraction, de retrait, et d'entrée d'air d'échantillons de sol non remaniés, prélevés à l'échelle de la motte. Ces courbes devraient permettre dorénavant de prendre en compte plus facilement le phénomène de retrait-gonflement dans les évaluations des paramètres physiques des sols ; « aussi bien en ce qui concerne leurs propriétés structurales que leurs propriétés hydrodynamiques et mécaniques ».

Reçu pour publication : Novembre 1987
 Accepté pour publication : Avril 1987

AUTOMATIC MEASURE OF THE SHRINKING OF UNDISTURBED SOIL CORE SAMPLE

First, the paper describes the « retractometer », which is an apparatus (fig. 1) to measure, by means of a microcomputer, the shrinking of an undisturbed soil sample during drying. The cylindrical soil core sample is first coated with neoprene glue on its lateral part. It is then slowly saturated with water, and treated as indicated in figure 2. The retraction and drying curves (fig. 3) are directly supplied by the microcomputer. It also shows how the air intake and shrinkage curves can be deduced from the « retraction curve » (fig. 4). The precision with which such curves are obtained is very high and this opens the way to their utilization in routine determination of agronomic characteristics.

BIBLIOGRAPHIE

- BRAUDEAU E., 1984. — Evolution des sols sous culture mécanisée. Essais « système de culture » du C.R.A.L. Rapp. O.R.S.T.O.M. Brazzaville, R.P. Congo, 36 p.
 BRUAND A., 1985. Contribution à l'étude de la dynamique de l'organisation de matériaux gonflants Thèse Doct. Université Paris VII, 225 pages.
 CHAN K.Y., 1982. — Shrinkage characteristics of soil clods from a grey clay under intensive cultivation. Aust. J. Soil. Res., 20, 65-68.

MESURE AUTOMATIQUE DE LA RETRACTION D'ECHANTILLONS DE SOL NON REMANIES

- HAINES W.B., 1923. — The volume changes associated with variations of water contents in soil. *J. Agr. Sci.*, 13, 296-310.
- LAURITZEN C.W., 1948. — Apparent specific volume and shrinkage characteristics of soil materials. *Soil Sci.* 65, 155-179.
- LAURITZEN C.W. et STEWART A.J., 1941. — Soil volume changes and pore size relationships. *Proc. Soil. Sci. Soc. Am.*, 6, 113-116.
- NEWMAN A.C.D. et THOMASSON A.J., 1979. — Pore size distributions and shrinkage processes. *J. Soil Sci.* 20, 415-439.
- QUIRK J.P., PANABOKKE C.R., 1962. — Pore volume size distribution and swelling of natural soil aggregates. *J. Soils Sci.*, 13, 71-81.
- REEVE M.J., HALL D.G., 1978. — Shrinkage in clayey subsoils of contrasting structure. *J. Soil Sci.* 29, 315-323.
- STIRK G.B., 1954. — Some aspect of soil shrinkage and the effect of craking upon water entry into soil. *Aust. J. agr. Res.*, 5, 279-90.
- TESSIER D., 1984. — Etude expérimentale de l'organisation des matériaux argilleux. Hydratation, gonflement et structuration au cours de la dessiccation et de la réhumectation. Thèse d'Etat, Paris VII, 361 p.

courbes de
up plus de
us grandes.
oncerné par
t fins, plus
sol étudié,
est réalisée
cinaires ou
a que peu
t de com-
e la relative
le la micro-
en d'évaluer
rée, comme
trophe selon

2.(rG-rA) et
1).

et avec une
échantillons
nt permettre
t-gonflement
en ce qui
es et méca-

Novembre 1987
1 : Avril 1987

RE SAMPLE

(fig. 1) to
soil sample
glue on its
indicated in
the micro-
be deduced
curves are
e determina-

s « système
D.
on de maté-

clay under