

## Détermination de la courbe de retrait de la phase argileuse à partir de la courbe de retrait établie sur échantillon de sol non remanié. Application à une séquence de sols de Côte-d'Ivoire

Erik BRAUDEAU et Ary BRUAND

**Résumé** – Le Modèle de Retrait Structural (modèle MRS) est appliqué à la courbe de retrait d'échantillons de sols non remaniés issus d'une toposéquence de sols de Côte-d'Ivoire. Le volume microporal évalué à la limite de retrait, en utilisant le modèle MRS, est sensiblement le même que le volume poral de la phase argileuse mesuré en porosimétrie au mercure. La courbe de retrait de la phase argileuse est par la suite calculée; elle révèle de fortes variations de comportement de la phase argileuse pour les différents sols étudiés.

### Determination of the clay shrinkage curve using the shrinkage curve of the undisturbed soil sample. Application to a soil sequence in Ivory Coast

**Abstract** – The structural shrinkage model (model MRS) was applied to the shrinkage curve of undisturbed soil samples which were collected from a soil sequence in Ivory Coast. The micro-pore volume which was calculated with the model MRS at the shrinkage limit is consistent with the pore volume of the clayey phase which was measured by mercury porosimetry. Then, the shrinkage curve of the clayey phase was calculated; it showed high variation of the properties for the studied soils.

**Abridged English Version** – The soil behaviour is related to the shrinkage and water retention properties of the clayey phase (Pédro and Tessier, 1983; Tessier, 1978), but the latter are rarely measured (Bruand *et al.*, 1988; Bruand and Zimmer, 1992), except on pure clays or clays extracted from soils (Tessier, 1980; Pédro and Tessier, 1983; Tessier and Pédro, 1984). The aim of this study is to show how the application of a "model of structural shrinkage" (model MRS) to the shrinkage curve of undisturbed samples (Braudeau, 1988 *a* and *c*) enables the determination of the shrinkage curve of the clayey phase.

**SAMPLES AND METHODS.** – The samples were collected from ferrallitic, ferruginous and hydromorphic tropical soils in a soil sequence in Ivory Coast (Fritsch *et al.*, 1990). Ten pits were distributed along the slope and two cores were collected at 40 cm depth in each pit. Each core was rewetted and its shrinkage curve was automatically measured between water-saturation and air-drying (Braudeau, 1987; Braudeau and Boivin, 1993). The air-dried core was then hand-broken into centimetre sized clods (5-8 cm<sup>3</sup>) which were analysed in mercury porosimetry (Vachier *et al.*, 1979; Fiès, 1984; Bruand *et al.*, 1990).

**NOTATION.** – The values which are suffixed MS, LM, AE and SL are defined at the points MS, LM, AE and SL of the shrinkage curve of the undisturbed sample (*fig. 1 a*), respectively.  $\theta$ : water content of the sample (gram of water per gram of sample). Ag: clay content (gram of clay per gram of sample).  $\theta_{\mu}$ : water content of the micropore volume (gram of water per gram of sample).  $\rho_w$ : specific mass of water (gram per cubic centimetre of water).  $v_{\mu}$ : micropore volume calculated with the shrinkage curve of the undisturbed sample (cubic centimetre per gram of sample).  $v_{\mu Hg}$ : micropore volume determined by mercury porosimetry (cubic centimetre per gram of sample).  $v_{ag}$ : specific volume of the clayey phase (solid and related porosity in cubic centimetre per gram of clay).  $\theta_{ag}$ : water content of the clayey phase

Note présentée par Georges PÉDRO.

0764-4450/93/03160685 \$ 2.00 © Académie des Sciences

C. R., 1993, 1<sup>er</sup> Semestre (T. 316)

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: B\*19081 Ex: 1

Série II – 49



(gram of water per gram of clay)  $\rho_{ag}$ : specific mass of the solid constituting of the clayey phase (gram per cubic centimetre of clay).  $v_{pag}$ : pore volume of the clayey phase (cubic centimetre per gram of clay).

RESULTS AND DISCUSSION. — The model MRS is based on the identification of two functional macro- and microscopic systems of soil porosity, the latter corresponding to the pore volume of the clayey phase (Braudeau, 1988 *a* and *c*). This model enables the calculation of each pore volume, and its water and air content, whatever the water content of the sample between water-saturation and air-drying. One of the hypotheses used in the model MRS is that the air-entry point within the micro-pore volume corresponds to the point AE on the shrinkage curve of the undisturbed sample (*fig. 1 a*). That hypothesis, which is consistent with results from studies on pure clays and clays extracted from soils (Sposito and Giraldez, 1976; Tessier, 1978), was discussed here by comparing the micro-pore volume which was determined with mercury porosimetry and with the application of the model MRS to the shrinkage curve of the undisturbed soil sample. In mercury porosimetry (Bruand *et al.*, 1990), the micro-pore volume ( $v_{p\mu Hg}$ ) (table) corresponds to a pore with equivalent diameters ranging between 0.006 and 0.4  $\mu\text{m}$  which mainly results from the packing of elementary clay particles (Cambier and Prost, 1981; Bruand and Prost, 1987; Grimaldi and Boulet, 1990). With the shrinkage curve of the undisturbed sample (*fig. 1 a*), the micropore volume is defined at the point AE (model MRS) and calculated at the shrinkage limit (point SL). The

CONCLUSION. — Our results, which were obtained for a large range of sample constitutions (Fritsch *et al.*, 1990), showed how the model MRS enables the determination of the shrinkage curve of the clayey phase. The properties which are deduced from that curve give information on shrinkage and water retention properties of the undisturbed clayey phase within the sample.

I. INTRODUCTION. — Le rôle prépondérant de la phase argileuse dans les propriétés hydriques et mécaniques du sol est très généralement reconnu. Ces propriétés du sol sont en effet étroitement dépendantes de celle, particulière à la phase argileuse, qui est de varier en volume en fonction de sa teneur en eau par réorganisation de ses particules (Pédro et Tessier, 1983; Tessier, 1978). La courbe de retrait de la phase argileuse du sol est de ce fait une caractéristique majeure à prendre en compte dans les études pédologiques. Cependant, cette courbe n'est que très rarement mesurée et, mis à part quelques tentatives pour discuter les propriétés de l'argile d'échantillons non remaniés (Bruand *et al.*, 1988;

Bruand et Zimmer, 1992), les mesures portent habituellement sur des argiles modèles ou

TABLEAU

Tableau des caractéristiques des échantillons étudiés. Les échantillons sont rangés par ordre depuis le haut de la toposéquence (sols rouges du domaine ferrallitique : échantillons 1, 2 et 3, sols jaunes du domaine ferrugineux : échantillons 4, 5 et 6 et sols beiges du domaine hydromorphe : échantillons 7, 8, 9 et 10).

Characteristics of the studied samples. The samples are ordered from the top to the bottom of the toposequence (ferrallitic soils: samples 1, 2 and 3; ferruginous soils: samples 4, 5 and 6 and hydromorphic soils: samples 7, 8, 9 and 10).

Ech.	Teneur en argile (g/g)	Teneur en eau (g/g)				Volume massique (cm <sup>3</sup> /g)				Volume microporal (cm <sup>3</sup> /g)	
		$\theta_{SL}$	$\theta_{AE}$	$\theta_{LM}$	$\theta_{MS}$	v <sub>SL</sub>	v <sub>AE</sub>	v <sub>LM</sub>	v <sub>MS</sub>	v <sub>pμHg</sub>	v <sub>pμSL</sub>
1. ....	0,593	0,145	0,164	0,179	0,201	0,695	0,701	0,711	0,718	-	0,150
2. ....	0,461	0,117	0,142	0,153	0,194	0,677	0,685	0,692	0,704	0,135	0,132
3. ....	0,499	0,128	0,152	0,172	0,196	0,687	0,694	0,706	0,713	0,125	0,142
4. ....	0,447	0,116	0,143	0,150	0,172	0,666	0,674	0,679	0,686	0,121	0,132
5. ....	0,374	0,097	0,117	0,125	0,155	0,638	0,643	0,647	0,655	0,100	0,109
6. ....	0,354	0,090	0,109	0,119	0,155	0,607	0,611	0,615	0,622	0,108	0,101
7. ....	0,229	0,053	0,086	0,099	0,157	0,629	0,634	0,639	0,650	0,055	0,072
8. ....	0,166	0,020	0,057	0,068	0,114	0,627	0,630	0,632	0,636	0,054	0,041
9. ....	0,104	0,016	0,036	0,061	0,101	0,637	0,638	0,642	0,645	0,040	0,028
10. ....	0,042	0,003	0,022	0,033	0,076	0,642	0,643	0,645	0,648	0,022	0,014

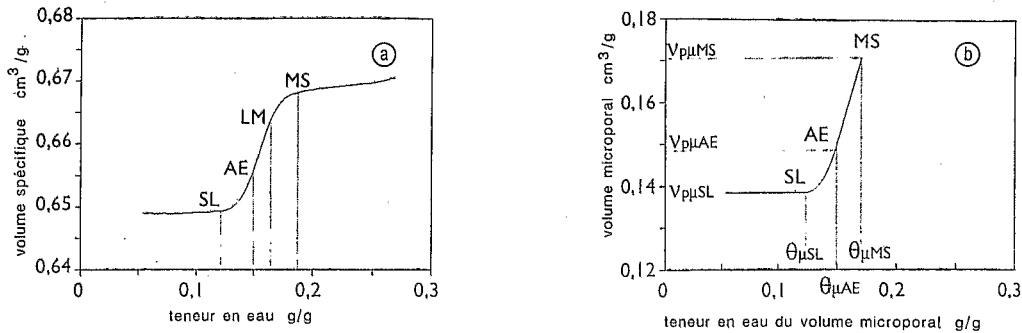


Fig. 1. — Courbe de retrait de l'échantillon de sol non remanié (a) et courbe de retrait du volume microporal (b) calculée en appliquant le modèle MRS à la courbe de retrait de l'échantillon non remanié.

Fig. 1. — Shrinkage curve of the undisturbed soil sample (a) and shrinkage curve of the micropore volume (b) which was calculated by applying the model MRS to the shrinkage curve of the undisturbed soil sample.

MS, LM, AE et SL.  $\theta$  : teneur en eau de l'échantillon (gramme d'eau par gramme d'échantillon).  $\theta_{\mu}$  : teneur en eau du volume microporal (gramme d'eau par gramme d'échantillon).  $\rho_w$  : masse volumique de l'eau (gramme par centimètre cube d'eau).  $v_{p\mu}$  : volume microporal calculé à l'aide du modèle MRS (centimètre cube par gramme d'échantillon).  $v_{p\mu Hg}$  : volume microporal déterminé en porosimétrie au mercure (centimètre cube par gramme d'échantillon).  $\theta_{ag}$  : teneur en eau de la phase argileuse (gramme d'eau par gramme d'argile).  $v_{ag}$  : volume massique de la phase argileuse (solide et porosité associée en centimètre cube par gramme d'argile).  $\rho_{ag}$  : masse volumique de la phase solide constituant la phase argileuse (gramme par centimètre cube d'argile).  $v_{pag}$  : volume poral de la phase argileuse (en centimètre cube par gramme d'argile).

IV. RÉSULTATS ET DISCUSSION. — (1) Discussion et validation de l'hypothèse de base. — Dans le Modèle de Retrait Structural du sol (modèle MRS), on considère que le volume poral du sol est constitué de deux volumes poraux élémentaires: un volume macroporal et un volume microporal correspondant exactement à celui de la phase argileuse (Braudeau, 1988 a and c). Le modèle MRS permet donc de calculer ces deux volumes poraux,

ainsi que les volumes d'eau et d'air qui y sont contenus, en fonction de la teneur en eau du sol. De la sorte, la contribution du volume microporal au volume poral total est entièrement déterminée en tout point de la courbe de retrait.



argileuse. La CGR est définie de la façon suivante :

$$CGR = v_{ag} MS - v_{ag} SL$$

soit, d'après (12) :

$$CGR = v_{pag} MS - v_{pag} SL$$

et, en utilisant (4) et (6) :

$$(14) \quad CGR = (1/\rho_w)(1/Ag)[\theta_{LM} - \theta_{AE} + 0,718(\theta_{MS} - \theta_{SL})](1/1,718).$$

Quant à la CEU, elle correspond à :

$$CEU = \theta_{ag} MS - \theta_{ag} AE.$$

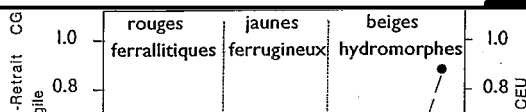
Soit, d'après (2), (8) et (13) :

$$CEU = \theta_{\mu} MS / Ag - \theta_{AE} / Ag$$

et en utilisant (6) :

$$(15) \quad CEU = (0,418 \theta_{MS} + 0,582 \theta_{LM} - \theta_{AE}) / (Ag).$$

La CEU est analogue à la Réserve en Eau Utile du sol (REU), qui a été redéfinie dans une précédente Note à partir des caractéristiques de la courbe de retrait de



La courbe de retrait de la phase argileuse, qui est établie à partir de cinq données macroscopiques (y compris la teneur en argile des échantillons) mesurées sur l'échantillon de sol non remanié, se révèle être une donnée essentielle pour la connaissance des sols. Elle renseigne en effet sur le comportement de la phase argileuse au sein du sol, sans qu'il soit nécessaire d'extraire celle-ci pour l'étudier, et donc sans que le mode d'assemblage des constituants qui composent la phase argileuse ne soit modifié au cours des déterminations.

Note remise le 9 novembre 1992, acceptée après révision le 8 janvier 1993.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- E. BRAUDEAU, Mesure automatique de la rétraction d'échantillons de sol non remaniés, *Sci. du Sol*, 25, (2), 1987, p. 85-93.
- E. BRAUDEAU, Équation généralisée des courbes de retrait d'échantillons de sol structurés, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 307, série II, 1988 a, p. 1731-1734.
- E. BRAUDEAU, Essai de caractérisation quantitative de l'état structural d'un sol basé sur l'étude de la courbe de retrait, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 307, série II, 1988 b, p. 1933-1936.
- E. BRAUDEAU, Méthode de caractérisation pédo-hydrrique des sols basée sur l'analyse de la courbe de retrait, *Cah. ORSTOM, série Pédologie*, 24, (3), 1988 c, p. 179-189.
- E. BRAUDEAU et P. BOIVIN, Transient determination of shrinkage curve for undisturbed soil samples : a standardized experimental method, in *Clay swelling and expansive soils*, International NATO Workshop, 12-16 août 1991, 1993 (à paraître).
- A. BRUAND, E. BRAUDEAU et E. FRITSCH, Évolution de la géométrie de l'espace poral des sols lors du passage du domaine ferrallitique au domaine ferrugineux et hydromorphe. Exemple du Bassin de Booro-Borotou (Côte-d'Ivoire), in *Structure et fonctionnement hydro-pédologique d'un petit bassin versant de savane humide*, coll. Études et Thèses, ORSTOM éd., Paris, 1990, p. 137-145.
- A. BRUAND et R. PROST, Effect of water content on the fabric of a soil material: An experimental approach, *J. Soil Sci.*, 41, 1987, p. 491-497.
- A. BRUAND, D. TESSIER et D. BAIZE, Contribution à l'étude des propriétés de rétention en eau des sols argileux : importance de la prise en compte de l'organisation de la phase argileuse, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 307, série II, 1988, p. 1937-1941.
- A. BRUAND et D. ZIMMER, Relation entre la capacité d'échange cationique et le volume poral dans les sols argileux : incidence sur la morphologie de la phase argileuse à l'échelle des assemblages élémentaires, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 315, série II, 1992, p. 223-229.
- P. CAMBIER et R. PROST, Étude des associations argile-oxyde : organisation des constituants d'un matériau ferrallitique, *Agronomie*, 1, (9), 1981, p. 713-722.
- J. C. FIÈS, Analyse de la répartition du volume de pores dans les assemblages argile-squelette : comparaison entre un modèle d'espace textural et les données fournies par la porosimétrie au mercure, *Agronomie*, 4, (9), 1984, p. 891-899.
- E. FRITSCH, C. VALENTIN, B. MOREL et P. LEBLOND, La couverture pédologique : interactions avec les roches, le modelé et les formes de dégradation superficielles, in *Structure et fonctionnement hydro-pédologique d'un petit bassin versant de savane humide*, coll. Études et Thèses, ORSTOM éd., Paris, 1990, p. 31-57.
- M. GRIMALDI et R. BOULET, Relation entre l'espace poral et le fonctionnement hydrodynamique d'une couverture pédologique sur socle de Guyane française, *Cah. ORSTOM, série Pédologie*, 25, (3), 1990, p. 263-275.
- G. PÉDRO, et D. TESSIER, Importance de la prise en compte des paramètres texturaux dans la caractérisation des argiles, *5th Meeting of the European Group*, Prague, 1983, p. 417-428.
- G. SPOSITO et J. V. GIRALDEZ, Thermodynamic stability and the law of corresponding states in swelling soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40, 1976, p. 352-358.
- D. TESSIER, Étude de l'organisation des argiles calciques. Évolution au cours de la dessiccation, *Ann. Agron.*, 29, (4), 1978, p. 319-355.
- D. TESSIER, Sur la signification de la limite de retrait dans les argiles, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 291, série D, 1980, p. 377-380.
- D. TESSIER et G. PÉDRO, Recherches sur le rôle des minéraux dans l'organisation et le comportement des sols, *Livre Jubilaire du Cinquantenaire de l'Association Française pour l'Étude du Sol*, AFES éd., 1984, p. 223-234.
- P. VACHIER, P. CAMBIER et R. PROST, Structure d'un milieu poreux : La craie, *Ann. Agron.*, 39, (3), 1979, p. 247-263.

E. B. : Laboratoire de Pédologie, ORSTOM, BP n° 1386, Dakar, Sénégal;

A. B. : Service d'Étude des Sols et de la Carte Pédologique de France, INRA, Ardon, 45160 Olivet, France.