



HAL
open science

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

Erik Braudeau, Ary Bruand

► **To cite this version:**

Erik Braudeau, Ary Bruand. 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 (Determination of the clay shrinkage curve using the shrinkage curve of the undisturbed soil sample. Application to a soil sequence in Ivory Coast). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Serie II, 1993, 316, pp.685-692. hal-00122537

HAL Id: hal-00122537

<https://insu.hal.science/hal-00122537v1>

Submitted on 3 Jan 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

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 cm³) 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. θ : water content of the sample (gram of water per gram of sample). Ag: clay content (gram of clay per gram of sample). θ_{μ} : water content of the micropore volume (gram of water per gram of sample). ρ_w : specific mass of water (gram per cubic centimetre of water). v_{μ} : 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). θ_{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^{er} Semestre (T. 316)

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: B*19081 Ex: 1

Série II – 49



(gram of water per gram of clay) ρ_{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 μm 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 relationship between the micropore volume ($v_{p\mu}$) and the water content of the sample (θ) is given by the model MRS (Braudeau, 1988 *a* and *c*):

$$(1) \quad dv_{p\mu}/d\theta = (1/\rho_w)(e^\Theta - 1)/(e - 1)$$

where

$$\Theta = (\theta - \theta_{MS})/(\theta_{LM} - \theta_{MS}) \text{ between MS and LM,}$$

$$\Theta = 1 \text{ between LM and AE,}$$

$$\Theta = (\theta - \theta_{SL})/(\theta_{AE} - \theta_{SL}) \text{ between AE and SL.}$$

Thus, integrating equation (1) between AE and SL, and using equations (2) and (3):

$$(4) \quad v_{p\mu SL} = (1/\rho_w)(\theta_{AE} + 0.718 \theta_{SL})/(1.718)$$

The values of $v_{p\mu SL}$ were calculated with equation (4) (table). $v_{p\mu Hg}$ and $v_{p\mu SL}$ are closely related ($r=0.97$; $n=9$), thus indicating that the point AE (*fig. 1 a*) corresponds to the air-entry point within the clayey phase and consequently, that the micropore volume corresponds to the pore volume of the clayey phase as assumed by the model MRS.

Equations (5) to (11), which enable us to determine the shrinkage curve of the micropore volume, were deduced from the model MRS (Braudeau, 1988 *a* and *c*). The shrinkage curve of the clayey phase was determined by referring the micropore volume to the clay content of the sample as indicated by equations (12) and (13) (*fig. 1 b*). Shrinkage and water retention properties of the clayey phase were discussed as in other works with the shrinkage curve of undisturbed samples (Braudeau, 1988 *b*; Grimaldi and Boulet, 1990). The "potential of swelling-shrinkage" of the clayey phase (CGR) and the "available water capacity" (CEU) of the clayey phase were defined by equations (14) and (15), respectively. Values of CGR and CEU were determined for the studied samples (*fig. 2*). They show low variation of CGR and CEU for samples collected from the ferrallitic and ferruginous soils, and a strong increase for the samples from the hydromorphic soils. These results indicated that the physical properties of the clayey phase are modified only for hydromorphic soils though, even significant variations in the soil constitution have been indicated from the ferrallitic soils towards the soil sequence to the hydromorphic soils at the bottom (Fritsch *et al.*, 1990).

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 bien des argiles extraites de sols (Pédro et Tessier, 1983; Tessier, 1980; Tessier et Pédro, 1984). Ceci est essentiellement la conséquence de l'absence de moyens conceptuels permettant de quantifier la variation de volume de la phase argileuse à partir de la variation du volume global du sol. Dans cette Note, nous nous proposons d'utiliser un Modèle de Retrait Structural du sol (modèle MRS) établi récemment (Braudeau, 1988 *a* et *c*) et de l'appliquer à un ensemble de sols; ceci afin de montrer comment il est possible de calculer la courbe de retrait de la phase argileuse à partir de la courbe de retrait mesurée sur échantillon non remanié, puis de préciser certaines propriétés caractéristiques de la phase argileuse.

II. ÉCHANTILLONS ET MÉTHODES D'ÉTUDE. — Les sols étudiés appartiennent à une toposéquence représentative d'un petit bassin versant du nord de la Côte-d'Ivoire (Booro-Borotou). Au sein de cette toposéquence, on passe latéralement de sols rouges ferrallitiques présents sur le plateau et en haut de versant, à des sols jaunes du domaine ferrugineux en milieu de versant, et enfin à des sols beiges hydromorphes en bas de versant (Fritsch *et al.*, 1990). Les prélèvements d'échantillons ont été effectués dans dix fosses pédologiques réparties le long de la toposéquence, de façon à échantillonner les principales transformations minéralogiques et structurales qui se produisent le long de cette toposéquence. Deux échantillons cylindriques ($h = 3$ cm; $D = 5,6$ cm) ont été prélevés dans chaque fosse au niveau de l'horizon minéral situé à 40 cm de profondeur. La courbe de retrait de chaque échantillon cylindrique non remanié est obtenue en mesurant en continu le diamètre du cylindre de sol et sa masse au cours du dessèchement de l'état saturé à l'état sec (Braudeau, 1987). Le dispositif comprend plusieurs postes montés en série dans une enceinte thermostatée à 28°C (Braudeau et Boivin, 1993). Le cylindre de sol, une fois sec, a été fragmenté à la main en mottes de dimensions centimétriques (5-8 cm³) en vue de l'analyse de la porosité en porosimétrie au mercure (Vachier *et al.*, 1979; Fiès, 1984; Bruand *et al.*, 1990). Les résultats sont exprimés par rapport à la masse de l'échantillon séché à 105°C pendant 24 h.

III. NOTATIONS UTILISÉES. — Les grandeurs exprimées aux points MS, LM, AE et SL de la courbe de retrait de l'échantillon non remanié (*fig. 1 a*) sont respectivement suffixées

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 ³ /g)				Volume microporal (cm ³ /g)	
		θ_{SL}	θ_{AE}	θ_{LM}	θ_{MS}	v_{SL}	v_{AE}	v_{LM}	v_{MS}	$v_{p\mu Hg}$	$v_{p\mu SL}$
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

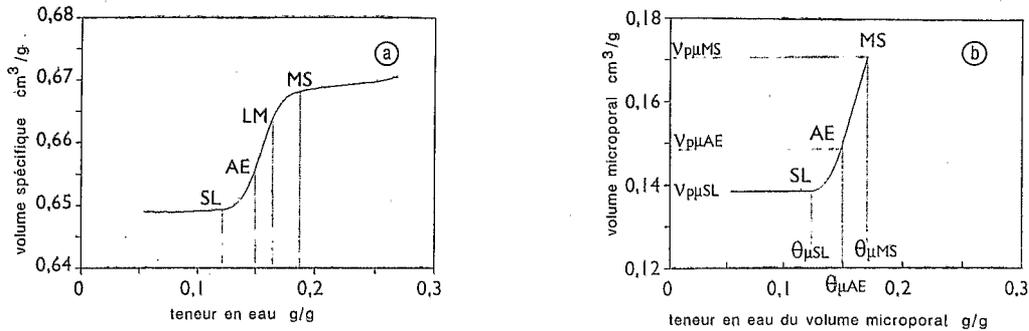


Fig. 1. — Courbe de retrait de l'échantillon de sol non remanié (a) et courbe de retrait du volume microporal (b) calculée en appliquant le modèle MRS à la courbe de retrait de l'échantillon non remanié.

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. θ : teneur en eau de l'échantillon (gramme d'eau par gramme d'échantillon). θ_{μ} : teneur en eau du volume microporal (gramme d'eau par gramme d'échantillon). ρ_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). θ_{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). ρ_{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.

Le calcul du volume microporal à l'aide du modèle MRS part néanmoins de l'hypothèse selon laquelle le point d'entrée d'air dans le volume microporal du sol est le point transition entre le retrait normal et le retrait résiduel sur la courbe de retrait (point AE) (fig. 1 a). Cette hypothèse est cohérente avec les données concernant les propriétés de retrait des argiles modèles. Pour ces dernières en effet, le point de la courbe de retrait à partir duquel la pente devient inférieure à 1 est reconnu depuis longtemps comme étant le point d'entrée d'air dans l'argile (Sposito et Giraldez, 1976; Tessier, 1978). Or, les sols étudiés possèdent des teneurs en argile et un mode d'assemblage des constituants qui les différencient très nettement des argiles modèles. Nous allons par conséquent comparer le volume microporal déterminé en porosimétrie au mercure à celui calculé à partir de la courbe de retrait en utilisant le modèle MRS.

La porosimétrie au mercure fournit le spectre poral des échantillons déshydratés. Les courbes d'intrusion de mercure font clairement apparaître l'existence d'un volume microporal accessible à des pores de diamètre équivalent compris entre 0,006 et 0,4 µm (maximum d'intrusion entre 0,10 et 0,15 µm) (Bruand *et al.*, 1990). Les valeurs obtenues pour ce volume microporal ($v_{p\mu Hg}$), qui correspond aux pores de la phase argileuse (Cambier et Prost, 1981; Bruand et Prost, 1987; Grimaldi et Boulet, 1990), sont portées dans le tableau joint.

Selon le modèle MRS (Braudeau 1988 a et c), le volume microporal est constant pour les teneurs en eau inférieures à la teneur en eau à la limite de retrait (θ_{SL}) (fig. 1 a). Il résulte de ceci que le volume microporal des échantillons déshydratés est égal au volume microporal au point SL. Pour le calcul des teneurs en eau supérieures à θ_{SL} , rappelons que la variation du volume microporal ($v_{p\mu}$) en fonction de la teneur en eau de l'échantillon (θ) s'écrit de la façon suivante avec les notations utilisées dans cette Note :

$$(1) \quad dv_{p\mu}/d\theta = (1/\rho_w)(e^\Theta - 1)/(e - 1),$$

avec

$$\Theta = (\theta - \theta_{MS})/(\theta_{LM} - \theta_{MS}) \text{ entre MS et LM,}$$

$$\Theta = 1 \text{ entre LM et AE,}$$

$$\Theta = (\theta - \theta_{SL})/(\theta_{AE} - \theta_{SL}) \text{ entre AE et SL.}$$

Le volume microporal au point SL ($v_{p\mu SL}$) est déterminé en calculant la variation du volume microporal entre les points AE et SL et tout en sachant que :

$$(2) \quad v_{p\mu AE} = \theta_{\mu AE}/\rho_w = \theta_{AE}/\rho_w$$

puisque, selon le modèle MRS, la seule eau qui reste dans l'échantillon au point AE se trouve dans l'espace microporal et l'occupe en totalité. On peut alors écrire :

$$(3) \quad v_{p\mu SL} = v_{p\mu AE} + \int_{AE}^{SL} dv_{p\mu}, \quad v_{p\mu SL} = \theta_{AE}/\rho_w + \int_{AE}^{SL} dv_{p\mu}$$

Or, suivant l'équation (1) :

$$\begin{aligned} \int_{AE}^{SL} dv_{p\mu} &= (1/\rho_w) [1/(e - 1)] \int_{AE}^{SL} (e^\Theta - 1) (d\theta/d\Theta) (d\Theta) \\ &= (1/\rho_w) [1/(e - 1)] [e^\Theta - \Theta]_{AE}^{SL} (\theta_{AE} - \theta_{SL}) \\ &= (1/\rho_w) [1/(e - 1)] (2 - e) (\theta_{AE} - \theta_{SL}) \end{aligned}$$

Ainsi, reporté dans l'équation (3) :

$$(4) \quad \begin{aligned} v_{p\mu SL} &= (1/\rho_w) [\theta_{AE} + (1/(e-1))(2-e)(\theta_{AE} - \theta_{SL})] \\ v_{p\mu SL} &= (1/\rho_w) (\theta_{AE} + 0,718 \theta_{SL}) / (1,718) \end{aligned}$$

Les valeurs de $v_{p\mu SL}$ sont portées dans le tableau joint. Les valeurs du volume microporal déterminées en porosimétrie au mercure et celles déterminées en rétractométrie sont étroitement corrélées ($r=0,97$; $n=9$). Quant à la pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de régression, elles sont voisines respectivement de 1 et 0. L'hypothèse selon laquelle le point AE de la courbe de retrait de l'échantillon non remanié correspond au point d'entrée d'air dans le volume microporal est par conséquent considérée comme étant validée pour les échantillons étudiés. Il résulte de ceci que le volume microporal calculé à l'aide du modèle MRS en tout point de la courbe de retrait correspond donc bien au volume poral de la phase argileuse.

(2) *Établissement de la courbe de retrait de la phase argileuse.* — Plusieurs équations permettant d'établir la courbe de retrait du volume microporal ont été établies à partir de l'équation (1) (Braudeau, 1988 a et c). Avec les notations utilisées dans cette Note, l'expression du volume microporal entre les points MS et LM (fig. 1 a) est la suivante :

$$(5) \quad v_{p\mu} = (1/\rho_w) [\theta_{MS} + (\theta_{LM} - \theta_{MS})(e^\Theta - \Theta) / (1,718)] = (1/\rho_w) (\theta_\mu)$$

Ainsi, au maximum de gonflement du volume microporal (point MS, $\Theta=0$) :

$$(6) \quad v_{p\mu MS} = (1/\rho_w) (\theta_{LM} + 0,718 \theta_{MS}) / (1,718) = (1/\rho_w) (\theta_{\mu MS})$$

Aux points LM et AE, et entre ces deux points :

$$(7) \quad v_{p\mu} = \theta_\mu / \rho_w = \theta / \rho_w$$

Entre les points AE et SL (point SL, $\Theta=0$) :

$$(8) \quad v_{p\mu} = (1/\rho_w) [\theta_{SL} + (\theta_{AE} - \theta_{SL})(e^\Theta - \Theta) / (1,718)]$$

$$(9) \quad \theta_\mu = \theta$$

Enfin, quand θ est inférieur à θ_{SL} (point SL, $\Theta=0$) :

$$(10) \quad v_{p\mu} = v_{p\mu SL} = (1/\rho_w) (\theta_{AE} + 0,718 \theta_{SL}) / (1,718)$$

$$(11) \quad \theta_\mu = \theta$$

Pour construire la courbe de retrait de la phase argileuse, le volume microporal et sa teneur en eau sont alors exprimés, non plus par rapport à la masse de sol sec mais, cette fois, par rapport à la masse d'argile. Ainsi, le volume massique de la phase argileuse (v_{ag} : phase solide et porosité associée) s'écrit :

$$(12) \quad v_{ag} = 1/\rho_{ag} + v_{pag} \text{ avec } v_{pag} = v_{p\mu} / Ag$$

et sa teneur en eau (θ_{ag}) :

$$(13) \quad \theta_{ag} = \theta_\mu / Ag$$

Les quatre grandeurs θ_{MS} , θ_{LM} , θ_{AE} et θ_{SL} définies à partir de la courbe de retrait de l'échantillon non remanié (fig. 1 a), et la teneur en argile de l'échantillon, suffisent donc pour construire la courbe de retrait de la phase argileuse du sol.

(3) *Propriétés de la phase argileuse.* — De la même façon que l'on a pu définir des propriétés physiques du sol à partir des points caractéristiques de sa courbe de retrait (Braudeau, 1988 b et c), nous pouvons définir maintenant des propriétés de la phase argileuse à partir de l'échantillon non remanié, et en particulier la Capacité de Gonflement-Retrait de la phase argileuse (CGR) et la Capacité en Eau Utile (CEU) de la phase

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 l'échantillon non remanié (Braudeau, 1988b). Les valeurs de CEU et CGR ont été

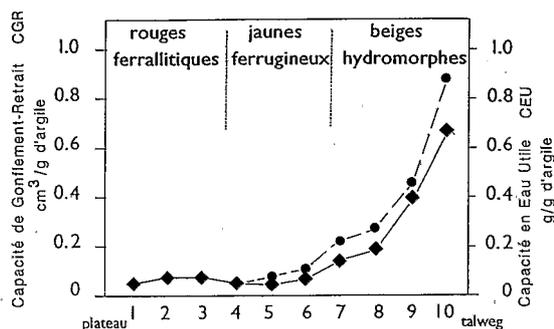


Fig. 2. — Variation de la Capacité de Gonflement-Retrait (CGR, ●) et de la Capacité en Eau Utile (CEU, ◆) de la phase argileuse le long de la toposéquence de sol étudiée.

Fig. 2. — Variation of shrinkage-swelling potential (CGR, ●) and available water (CEU, ◆) of the clayey phase along the soil sequence.

calculées pour les échantillons; elles sont présentées dans la figure 2. On observe que la CEU et la CGR ne varient pas sensiblement pour les échantillons prélevés dans les sols du domaine ferrallitique et dans ceux du domaine ferrugineux. En revanche, la CEU et la CGR augmentent très fortement pour les échantillons prélevés dans les sols beiges du domaine hydromorphe. De tels résultats montrent clairement que les propriétés d'hydratation et de retrait-gonflement de la phase argileuse ne sont modifiées que pour les sols du domaine hydromorphe, alors que d'importantes variations de la nature des constituants (teneur en argile et en oxy-hydroxydes de fer, minéralogie) et de leur mode d'assemblage ont été mises en évidence tout au long de la toposéquence (Fritsch *et al.*, 1990).

V. CONCLUSION. — Grâce au Modèle de Retrait Structural (modèle MRS), nous avons pu calculer la courbe de retrait de la phase argileuse présente dans des échantillons de sol non remaniés. Les sols étudiés couvrent une large gamme de nature de l'argile et de teneur en argile (Fritsch *et al.*, 1990). D'importantes variations des propriétés de rétention d'eau et de retrait-gonflement de la phase argileuse ont ainsi été mises en évidence.

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.