

Cinétique de pénétration de l'eau dans le sol par gonflement des agrégats primaires

E. BRAUDEAU

(présenté à Kearney Foundation 1995 Conference « Vadose zone hydrology; cutting across disciplines ».
University of California, Davis)

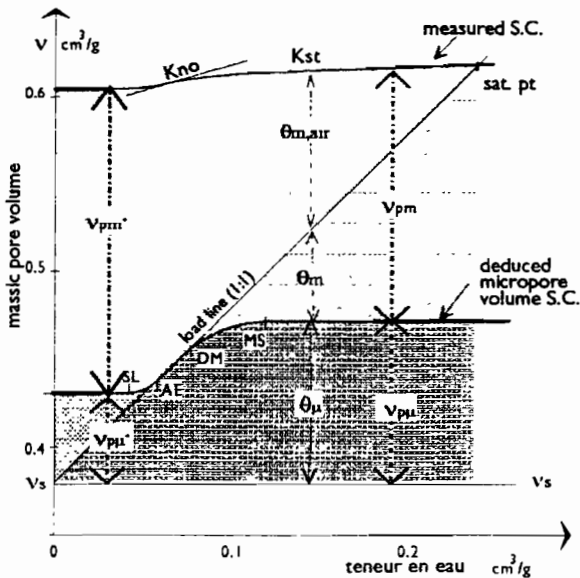
INTRODUCTION

Les modèles fonctionnels de la structure du sol qui sont généralement utilisés en science du sol, notamment pour les études de transfert d'eau, donnent plus d'importance à la géométrie de l'espace porel, (le rayon du pore), qu'aux propriétés physico-chimiques du plasma argileux composant les peds primaires, les supposant négligeables. Pourtant, comme cela a pu être montré dans un travail récent (1), une partie de la réserve en eau est constituée de l'eau retenue par gonflement du plasma argileux, occupant par conséquent une porosité nouvellement créée.

Dans cette note, nous étudions la cinétique d'absorption de l'eau par gonflement du plasma argileux au sein de la structure du sol (cas des oxysols).

CONSIDERATIONS THEORIQUES ET NOMENCLATURE:

On considère la biporosité classique d'un agrégat (100 CM³)de sol; dans lequel la microporosité correspond exactement à celle du plasma argileux des peds primaires (Brewer 1964), et la macroporosité à l'espace poral complémentaire c.a.d. entre les peds primaires. Cette partition de la porosité en deux classes fonctionnelles a été adoptée auparavant par Yong and Warkentin (1975) et Braudeau (1988); elle s'accorde avec le modèle de description morphologique de la structure du sol faite par Brewer (1964), et a donné lieu à la représentation schématique du modèle fonctionnel de la structure du sol (2,3) à la fig. 1.



MS maximum swelling of the micropore volume
DM dry macropore volume point
AE air entry in micropore volume
SL shrinkage limit

- v specific volume of whole soil sample (cm³ g⁻¹)
- θ gravimetric water content (cm³ g⁻¹)
- θ_μ " of micropore region (cm³ g⁻¹ whole soil)
- θ_m " of macropore region (cm³ g⁻¹ whole soil)
- v_{pm} massic micropore volume of soil (cm³ g⁻¹ whole soil)
- v_{pm} massic macropore volume of soil ((cm³ g⁻¹ whole soil)
- v_s gravimetric solid content (cm³ g⁻¹)
- K_{no}, K_{st} slopes of the linear shrinkage zones of the curve

fig. 1: Modèle de retrait structural (MRS).

Les points particuliers MS, DM, AE et SL sont déterminés sur la courbe par optimisation de l'ajustement des équations du modèle MRS à la courbe de retrait mesurée (1). La modélisation de la courbe de retrait entraîne celle de toutes les variables présentées sur le diagramme en fonction de θ grâce à l'hypothèse:

$$dV = K_{no}.dV_{p\mu} + K_{st}.d\theta_m \quad (1)$$

MATERIALS AND METHODS

L'analyse de la cinétique du retrait-gonflement du sol a porté sur des échantillons de sol remaniés en terre fine (agrégats <2mm) et placés dans la cellule de l'appareil présenté à la figure 2. La cellule est placée dans un bécher, sous le capteur de déplacement. Le becher est ensuite rempli d'eau jusqu'au niveau du verre fritté supérieur et maintenu à ce niveau. Une mesure est effectuée toutes les 100 secondes, puis toutes les 5 minutes après deux heures de gonflement.

Après le gonflement, la cellule est sortie du bécher et laissée égoutter et sécher une dizaine de minutes. La cellule est ensuite placée sur la balance, et sous le capteur de déplacement. Les supports en dessous de la cellule permettent à l'eau de s'évaporer des deux côtés. Une mesure du poids et de la hauteur de l'échantillon est effectuée toutes les 5 minutes jusqu'à la fin du retrait qui dure de huit à dix jours.

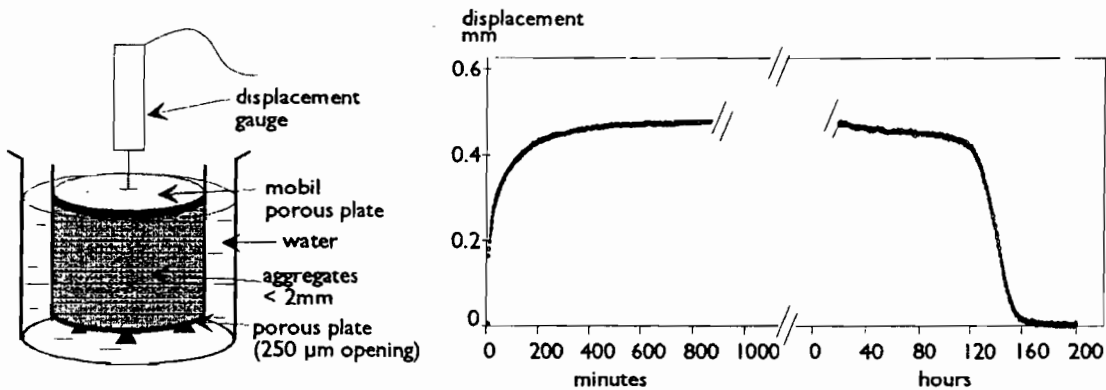


fig. 2: Dispositif de mesure du cycle gonflement-retrait d'un massif d'agrégats

Results

Les cycles de gonflement-retrait (fig1) sont reproductibles, et le remaniement de l'échantillon n'a pas d'influence notable sur les caractéristiques de la microporosité (tableau I), contrairement à celles de la macroporosité.

nom	argile %	θ_{SL}	θ_{AE}	θ_{MD}	θ_{MS}	θ_{sat}	VSL	VMS	Vsat	Vp μ MS	Vp μ SL	$\theta_{\mu no}^{max}$	Kno
							cm ³ g ⁻¹						
T1	46.1	0.117	0.142	0.153	0.194	0.334	0.677	0.704	0.705	0.170	0.132	0.038	0.672
R1T1		0.120	0.148	0.162	0.203	0.401	0.752	0.770	0.773	0.179	0.136	0.043	0.404
R2T1		0.112	0.136	0.157	0.190	0.398	0.752	0.768	0.770	0.171	0.126	0.045	0.356
T7	22.9	0.053	0.086	0.099	0.157	0.280	0.629	0.650	0.656	0.123	0.072	0.051	0.384
R1T7		0.048	0.081	0.100	0.135	0.291	0.648	0.662	0.667	0.115	0.067	0.047	0.319
R2T7		0.064	0.071	0.094	0.135	0.285	0.648	0.659	0.661	0.111	0.068	0.043	0.268
T9	10.4	0.016	0.036	0.060	0.101	0.267	0.637	0.645	0.646	0.077	0.028	0.050	0.160
R1T9		0.024	0.044	0.061	0.087	0.229	0.600	0.605	0.608	0.072	0.036	0.036	0.127
R2T9		0.036	0.044	0.068	0.099	0.223	0.600	0.601	0.602	0.081	0.041	0.040	0.049

Tableau I: Résultats d'analyse de la courbe de retrait d'échantillons témoins non remaniés (Ti) et remaniés correspondants, lors de deux cycles de gonflement retrait (RITi et R2Ti)

MODELISATION DU GONFLEMENT DES AGREGATS

On suppose que les agrégats sont le siège d'une pression de gonflement d'origine osmotique et d'expression:

$$P_s = E/(\theta_{\mu} - v_{p\mu}) = E/\theta_{\mu no} \quad (1)$$

où E est « the potential energy of the solid phase resulting from the surface charge of the soil in joules/kg »

(6); $\theta_{\mu no}$ la teneur en eau plasmique absorbée par gonflement des agrégats.

La vitesse d'absorption de l'eau par les agrégats s'écrit:

$$d\theta_{\mu no} / dt = -K(P_s - P_s^*) \text{ où } P_s^* = E/\theta_{\mu no}^{max} \quad (2)$$

En reprenant les hypothèses du modèle RS: $dv/dt = K'_{no} \cdot d\theta_{\mu no} / dt \quad (3),$

l'intégration de l'équation (3) conduit à une expression linéaire de $v^{max} - v$ en fonction de t:

$$\log((v^{max} - v)/\gamma) + 1 - (v^{max} - v)/\gamma = A \cdot t \quad (4).$$

L'optimisation de l'ajustement de (4) aux données observées (fig 3) détermine A et γ (tableau 2). Tenant

compte de (3), (4) s'écrit sous la forme: $(1-S) \cdot \exp(S) = \exp(At)$

où S est le taux de saturation des agrégats (fig 4): $S = \theta_{\mu no} / \theta_{\mu no}^{max} = 1 + (v^{max} - v)/\gamma$

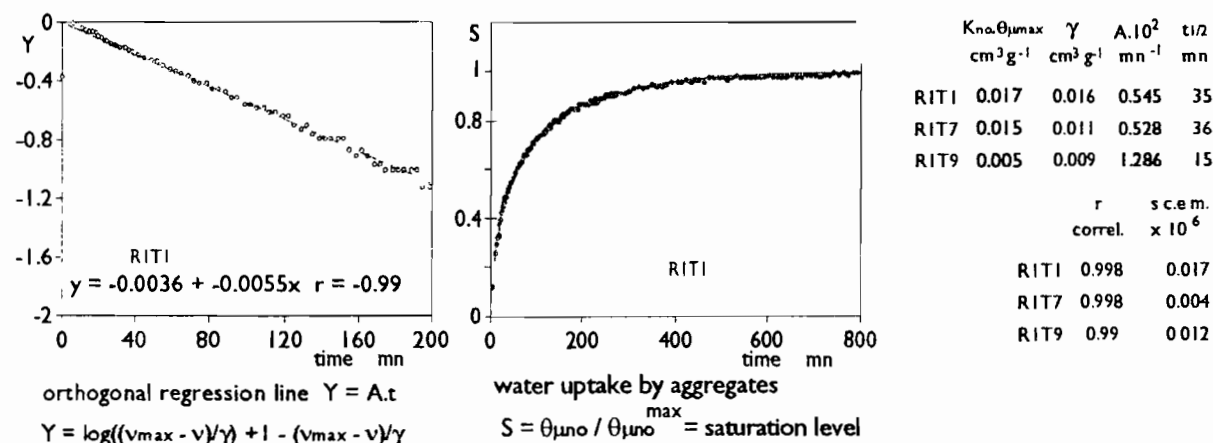


fig.3: a) exemple d'optimisation de l'ajustement de (4) à une droite; b) taux de saturation des agrégats en fonction du temps, courbes calculée (points tillés) et observée (gros points).

CONCLUSION

Trois faits importants ont été mis en évidence dans cette étude, concernant l'absorption de l'eau par gonflement du plasma argileux dans les sols peu gonflants:

<>L'eau absorbée par gonflement est loin d'être négligeable et représente pour ces sols puisque $\theta_{\mu no}^{max}$ varie approximativement de 1/3 à 1/1 du volume microporal des agrégats secs $V_{p\mu}^o$ et à moitié environ de leur réserve en eau: $\# (\theta_{MS} - \theta_{AE})/2$.

<>La cinétique d'absorption par gonflement est beaucoup plus lente ($t_{1/2} \sim 45mn$) que celle de la pénétration de l'eau dans une microporosité plasmique rigide ($t < 1mn$) telle celle étudiée récemment par Yongs et al. (7).

<>Le potentiel de l'eau, dans le plasma argileux, est de caractère osmotique en $1/V$ plutôt que $1/r$.

Il semble que tenir compte de ces propriétés internes à la structure du sol permettra d'une part d'établir une meilleure correspondance entre modèles fonctionnels et modèles morphologiques, et d'autre part de mieux décrire les équilibres thermodynamiques dans le sol.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) BRAUDEAU E., BRUAND A., 1993. 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. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 316, série II: 685-692.
- (2) BRAUDEAU E., 1988 a. Equation généralisée des courbes de retrait d'échantillons de sols structurés. C. R. Acad. Sci. Paris, 307, série II: 1731-1734.
- (3) COLLEUILLE H. et E. BRAUDEAU, 1996. A soil fractionation related to the soil structural behaviour. Aust. J. Soil Res. (à paraître)
- (4) YONG R. N., WARKENTIN B. P., 1975. Soil properties and behaviour. Elsevier, New York. 449 p.
- (5) BREWER R., 1964. Fabric and mineral analysis. WILEY J. & SONS. New York.
- (6) VORONIN A.D. 1983. An energetic approach to the quantitative evaluation of soil structure. Soviet soil science. 103-109.
- (7) YONGS E. G., P. B. LEEDS-HARRISON, R.S. GARNETT 1994. Water uptake by aggregates. European Journal of Soil Science, 45, 127-134.

**NEUVIEME REUNION DU GROUPE DE REFLEXION
SUR L'ETUDE DE LA SOLUTION DU SOL
EN RELATION AVEC L'ALIMENTATION DES PLANTES
(GRESSAP)**

ORSTOM Montpellier - 10 septembre 1996