

Essai de caractérisation quantitative de l'état structural d'un sol basé sur l'étude de la courbe de retrait

Érik BRAUDEAU

Résumé — La modélisation du retrait, dérivée de l'équation paramétrique de la courbe de retrait établie récemment par l'auteur [1], permet la caractérisation quantitative de la structure du sol et des volumes fonctionnels (volumes poreux, agrégats, stocks d'eau). Une redéfinition des termes du formalisme agro-pédologique usuel est proposé.

Quantitative assessment of soil structural quality by mean of shrinkage curves analysis

Abstract — The soil shrinkage model derived from the parametric equation previously established by the author [1], allows the quantitative assessment of soil structure and functional volumes such as aggregates, water, and pore volumes. A new definition of the terms traditionally used in agro-pedology is proposed.

I. INTRODUCTION. — Dans une Note précédente [1], nous avons montré comment la courbe de retrait pouvait être décrite en totalité par une équation paramétrique de forme généralisée, valable tout au moins pour les sols ferrallitiques, même à faible pourcentage d'argile. Cette équation est associée à un modèle de fonctionnement du système poral de l'échantillon de sol, qui implique un nouveau regard sur la structure du sol; regard que nous allons tenter de formaliser ici, en vue d'obtenir une méthode de caractérisation cohérente et quantitative de la structure et des propriétés structurales du sol.

II. ÉQUATION PARAMÉTRIQUE DES COURBES DE RETRAIT. — La figure 1 montre en exemple la courbe de retrait complète (V) d'une carotte de sol, analysée au rétractomètre selon la méthode décrite précédemment [2]. Les points particuliers séparant les différentes phases de retrait, et dont les coordonnées sont les paramètres de la courbe de retrait [1], ont été localisés avec le maximum de précision par optimisation de l'ajustement entre la courbe observée et la courbe calculée d'après l'équation paramétrique suivante :

$$(1) \quad dV = K_r \cdot dV_{mi} + K_0 \cdot dw_a$$

avec :

$$(2) \quad dV_{mi} = x \cdot dw$$

et

$$(3) \quad dw_a = (1 - x) \cdot dw,$$

x étant une fonction continue, comprise entre 0 et 1, définie précédemment (1), et rappelée dans le tableau; V est le volume de l'échantillon, w sa teneur en eau; V_{mi} le volume poral de la microporosité déformable déterminé entre les points B et C par $V_{mi} = w$; w_a la teneur en eau dans la macroporosité, nulle à partir du point C; enfin K_r et K_0 sont les constantes de retrait qui correspondent aux pentes des phases C-B et F-E de la courbe de retrait.

Cette équation repose sur la délimitation quantitative de V_{mi} , le volume poral du système micro-organisé déformable de l'échantillon. Rappelons que ce système, que l'on

Note présentée par Georges PÉDRO.

0249-6305/88/03071933 \$ 2.00 © Académie des Sciences

TABLEAU

Valeurs de x et w_n dans chaque phase de retrait. x and w_n values in the different shrinkage phases.

Phases.	F-E	E-C	C-B	B-A	A-A ₀
$x =$	0	$\frac{e^{w_n} - 1}{e - 1}$	1	$\frac{e^{w_n} - 1}{e - 1}$	0
$w_n =$		$\frac{w - w_E}{w_C - w_E}$		$\frac{w - w_A}{w_B - w_A}$	

écrit (V_{mi}), a été défini [1] comme étant le volume responsable du retrait maximum (phase C-B) et résiduel (phase B-A) de l'échantillon, ayant son point d'entrée d'air en B, et sa constante de retrait K_r égale à 1 (fig. 1).

Le volume complémentaire de V_{mi} dans l'échantillon, est appelé volume poral macroscopique V_{ma} . Ces deux volumes poraux V_{mi} et V_{ma} ainsi que leur teneur en eau respective w_i et w_a , sont fonctions de w (fig. 1 et 2), selon les relations décrites dans la Note précédente [1].

III. CARACTÉRISATION DE LA STRUCTURE D'UN ÉCHANTILLON DE SOL. — Elle repose sur la prise en compte des éléments suivants :

K_r , rapport d'échelle. — Dans l'équation (1), la constante de retrait K_r se présente comme la dérivée partielle du volume global de l'échantillon V par rapport au volume de la microporosité V_{mi} . Ce rapport : dV/dV_{mi} , qui a la propriété observée de rester constant dans tout le domaine de variation de V , définit une relation stable entre deux niveaux d'organisation emboîtés du sol : celui de la microporosité (V_{mi}), et celui de l'échantillon (V). De ce fait, K_r est un coefficient géométrique qui caractérise la structure de l'échantillon basée sur ces deux niveaux d'organisation.

Agrégat fonctionnel, structure fonctionnelle du sol. — La relation $dV/dV_{mi} = K_r$ fait apparaître (V_{mi}) comme un volume fonctionnel. Celui-ci est partitionné en éléments structuraux dont l'arrangement forme le volume global de l'échantillon. Cela introduit la notion d'agrégats fonctionnels, comme éléments de cette partition de (V_{mi}). Or cette partition est physiquement délimitée par la répartition de l'eau et de l'air dans l'échantillon au cours de la phase de retrait C-B. En effet, à partir de C, l'eau occupe exclusivement toute la microporosité de l'échantillon, la porosité complémentaire V_{ma} n'étant occupée que par l'air (1).

L'agrégat du sol peut donc être défini comme tout volume continu à deux phases, eau-solide, existant à l'état individualisé au cours de la phase de retrait maximal C-B.

La structure fonctionnelle du sol est alors la structure formée par l'arrangement de ces agrégats, et caractérisée par K_r .

Porosité inter et intra-agrégat. — Corrélativement, sont définis le volume poral intra-agrégat : V_{mb} et le volume poral inter-agrégat : V_{ma} . Ces deux volumes poraux sont parfaitement connus et calculés en chaque point du retrait (fig. 1); ils répondent également aux dénominations de volume poral textural V_{mi} et structural V_{ma} , sans contradiction avec les définitions actuelles [3].

Paramètres structuraux. — Les paramètres de l'équation [1] sont au nombre de huit [1], à choisir parmi les coordonnées des points particuliers limitant les phases de retrait, et

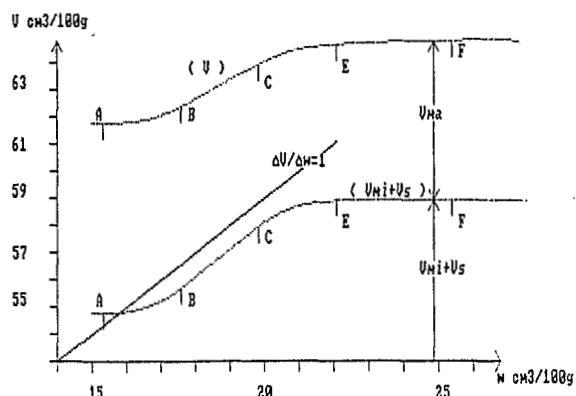


Fig. 1

Fig. 1. — Courbe de retrait (V) d'un échantillon de sol non remanié (ech. : MSBA-BA).
La variation de son volume poral microscopique V_{mi} est représentée par la courbe $(V_{mi} + V_d)$.

Fig. 1. — Shrinkage curve (V) of an undisturbed soil sample (MSBA-BA) and pore volume change of its microporosity system ($V_{mi} + V_d$).

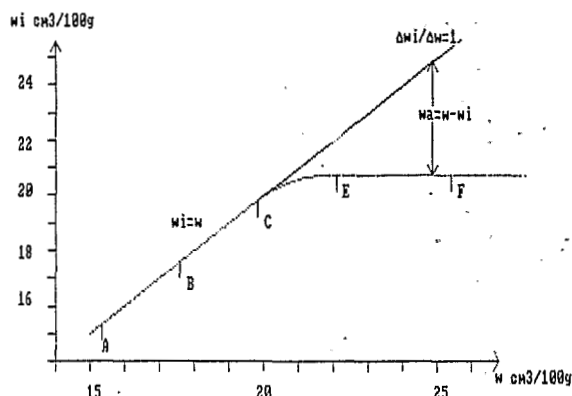


Fig. 2

Fig. 2. — Teneurs en eau : w_i et w_a dans la micro- et la macroporosité, en fonction de la teneur en eau w de l'échantillon (ech. : MSBA-BA).

Fig. 2. — Water content (w_i and w_a), of the soil sample in its micro- and macro-porosity as a function of the total water content w (MSBA-BA).

les constantes de retrait. Les huit données suivantes : w_A , w_B , w_C , w_E , V_A , w_F , K_r , K_0 , constituent par exemple, une série de paramètres indépendants, dont les quatre premiers sont des propriétés intrinsèques de (V_{mi}) , liées aux propriétés de réarrangement à l'état saturé de ses particules constitutives. Quant aux quatre autres paramètres, ils se rapportent aux propriétés d'arrangement des agrégats au niveau de l'échantillon.

Ces paramètres constituent donc les véritables paramètres structuraux du sol, caractérisant le comportement de la structure fonctionnelle du sol, *en laboratoire comme in situ*, telle qu'elle a été définie plus haut.

IV. CARACTÉRISATION DES PROPRIÉTÉS STRUCTURALES. — Les cinq teneurs en eau w_A , w_B , w_C , w_E , w_F , paramètres structuraux du sol ont une signification physique évidente. On connaît d j à les points A et F comme étant la limite de retrait et la limite de saturation. Les autres points peuvent être mis en correspondance avec un des  tats physiques particuliers du sol, reconnus traditionnellement en pédologie et agrop dologie.

Capacité de rétention (point E). — Au point E, l'eau qui subsiste dans la macroporosité : w_{aE} , bien que extérieure à (V_{mi}) , lui est entièrement dépendante puisqu'elle est déterminée par l'équation : $w_{aE} = (w_E - w_C)/(e - 1)$ obtenue en intégrant [3] entre les points E et C. A partir de E, les agrégats sont donc entourés d'une couche d'eau dont le volume massique w_{aE} est une caractéristique intrinsèque de (V_{mi}) . Le point E est donc exactement le point qui sépare un état physique du sol où l'eau est libre dans la macroporosité stable, de l'état du sol où l'eau est associée à la microporosité déformable. Il correspond à la définition que l'on donne traditionnellement à la capacité de rétention : la teneur en eau à partir de laquelle l'eau est retenue par le sol après un drainage rapide à travers la macroporosité.

Point de friabilité (point C). — En poursuivant le raisonnement pr c dent, le point C est le point exact où la couche d'eau entourant les agrégats a compl tement disparu,

ceux-ci restant saturés : c'est le point de définition des agrégats, point où se produit réellement leur individualisation.

Point de flétrissement (point B). — En B, l'air pénètre dans (V_{mi}), de manière homogène, c'est-à-dire sans différenciation structurale (en agrégats, fissures), puisque expérimentalement, d'après [2], $dV_{mi}/dw_i = 1$. La continuité capillaire n'est plus assurée, et l'eau ne peut plus circuler sous forme liquide au sein de la microporosité pour accéder aux racines. Ce point correspond donc au point limite à partir duquel l'eau n'est plus mécaniquement en contact avec les racines. C'est la définition précise que l'on se propose de donner au point de flétrissement du sol, écartant l'idée que le potentiel de l'eau du sol soit le facteur limitant principal de l'extraction de l'eau par les racines; le pF 4.2 étant, d'après les données de la littérature [4], simplement en corrélation avec cette partie B-C de la courbe de retrait.

Réserves en eau du sol : RFU et REU. — Dans ce même ordre d'idée, la réserve en eau du sol RE, qui est traditionnellement la quantité d'eau contenue dans le sol entre le point à la capacité de rétention (E) et le point de flétrissement (B), est égale à $w_E - w_B$, et correspond entièrement à l'eau fournie à l'extérieur par rétraction de la microporosité, du point E au point B. Cette réserve en eau est composée d'une eau facilement accessible, qui est la quantité d'eau contenue dans la macroporosité de E à C : w_{aE} , et donc directement accessible aux racines, et d'une eau interne à (V_{mi}), qui n'est disponible que par rétraction à l'état saturée de celle-ci. Dans ce dernier cas, la vitesse d'extraction est obligatoirement régulée par les propriétés de compressibilité de (V_{mi}). Ces deux quantités d'eau répondent tout à fait aux définitions traditionnelles de réserve en eau facilement utilisable, la RFU, et de réserve en eau utile, REU. Calculées au point E, elles ont pour valeur :

$$RE = w_E - w_B; \quad RFU = w_{aE} = (w_E - w_C)/(e - 1); \quad REU = w_E - w_B - (w_E - w_C)/(e - 1).$$

V. CONCLUSION. — Nous avons vu que l'analyse des courbes de retrait de carottes de sol à structure non remaniée, ouvre l'accès à la définition et la caractérisation cohérente et complète en laboratoire de deux niveaux d'organisation fonctionnels du sol : l'agrégat comme unité structurale, et son assemblage formant la structure fonctionnelle du sol. Cette structure est caractérisée quantitativement par une constante d'échelle K_r , une microporosité texturale intra-agrégat, et une macroporosité structurale inter-agrégat. Enfin pour garantir la corrélation entre les données observées en laboratoire et les mesures *in situ*, les cinq points particuliers de la courbe de retrait, qui sont les paramètres structuraux déterminant tout le comportement structural de l'échantillon, sont pris comme points de référence pour la définition et la détermination quantitative des propriétés structurales du sol (réserves en eau, états du sol, aération).

Note remise le 6 octobre 1988, acceptée le 13 octobre 1988.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] E. BRAUDEAU, C.R. Acad. Sci. Paris, 307, série II, 1988, p. 1731-1734.
- [2] E. BRAUDEAU, Science du Sol, 25/2, 1987, p. 85-93.
- [3] J. C. FIES, Thèse, Université de Strasbourg, 1978.
- [4] M. J. REEVE et D. G. M. HALL, J. Soil Sci., 29, 1978, p. 315-323.