



**HAL**  
open science

## 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.

Ary Bruand, Daniel Tessier, Denis Baize

### ► To cite this version:

Ary Bruand, Daniel Tessier, Denis 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.. Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série IIa, Sciences de la terre et des planètes, 1988, 307, pp.1937-1941. insu-00862570

**HAL Id: insu-00862570**

**<https://insu.hal.science/insu-00862570>**

Submitted on 17 Sep 2013

**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.

## 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

ATY BRUAND, Daniel TESSIER et Denis BAIZE

**Résumé** — Les propriétés de rétention en eau des argiles des sols sont discutées à partir d'échantillons non perturbés de sols argileux. Les résultats montrent que, si la quantité et la nature minéralogique de l'argile expliquent en partie les valeurs mesurées, il est nécessaire de tenir compte aussi de l'organisation des particules d'argile telle qu'elle se présente au sein d'échantillons « naturels ». Le volume massique de fragments non perturbés, pris à leur capacité au champ, se présente comme le paramètre le plus adapté à cette caractérisation.

### Clayey soils water retention properties: significance of the clay fabric

**Abstract** — Water retention properties of clays in soils were discussed using undisturbed samples from clayey soils. Results showed that, if the amount and mineralogical characteristics partly explain the differences which were pointed out, we must also take the clay particles fabric of undisturbed samples into account. The bulk volume of samples, at water content near field capacity, is the most convenient parameter to characterize water retention properties of the soil.

**Abridged English Version** — Laboratory experimental studies on the behaviour of clays pointed out that their water retention properties were explained by taking both clay mineralogy and fabric into account ([1], [2]). In this Note, our aim is to show how this result, obtained from the study of pure clay samples, is useful in understanding water retention properties on clayey soils.

**MATERIAL AND METHODS.** — The experiments were performed with 13 samples collected during winter at near field capacity (Table). Centimetric clods were obtained by breaking by hand these undisturbed and undried samples [3]. Field bulk volume ( $V_p^r$ ) was measured on the centimetric clods [4]. Their water content at 1.6 MPa matric potential ( $\theta^{1.6}$ ) was determined using pressure membrane equipment ([1], [5]). Fifteen replications were made in both cases.

**RESULTS AND DISCUSSION.** — At a 1.6 MPa matric potential, the water is located in pores which result from the clay fabric. Indeed, for this matric potential value, the calculation gives an equivalent pore diameter which is equal to 0.1  $\mu\text{m}$ . As water is retained by the clay phase inside the samples, the differences in water content at 1.6 MPa ( $\theta^{1.6}$ ) may be firstly attributed to differences in clay content (particles  $< 2 \mu\text{m}$ ). Figure *a* shows that  $\theta^{1.6}$  increases roughly with the sample clay content. 74% of  $\theta^{1.6}$  variance is explained by the linear regression of  $\theta^{1.6}$  on the clay content. If, instead of this total content, the non-calcareous clay fraction is used, only 69% of variance is explained by this relationship.

It is well established that clays can retain different amounts of water for a matric potential value according to their mineralogical characteristics [1]. A simpler way to use this result is to study the  $\theta^{1.6}$  variations in relation to the cation exchange capacity of the samples. At present, the relationship between  $\theta^{1.6}$  and the cation exchange capacity is closer than previously with the clay content since this relationship explains 83% of  $\theta^{1.6}$  variance (Fig. *b*).

Laboratory studies have also pointed out that, in addition to the mineralogical characteristics, the clay fabric must also be taken into account in order to understand the water retention

Note présentée par Georges PÉDRO.

properties of clays ([1], [2]). The sample feature which was selected in order to express the variations of clay content, clay mineralogy and clay fabric, was the pore volume developed by the clay phase inside the samples ( $V_v^{arg}$ ). As  $V_v^{arg}$  can not be directly measured, its variations are characterized by using the  $V_f^{pr}$  variations since:

$$V_f^{pr} = V_v^{arg} + V_s^{arg+sq}$$

with  $V_s^{arg+sq}$  equal to the volume of the solid phase and by considering pore volume due to biological activity or cracks to be insignificant with regard to the pore volume due to the clay fabric. The calculation pointed out that  $\theta^{1.6}$  is positively correlated with  $V_f^{pr}$  and that 90% of  $\theta^{1.6}$  variance is explained by the variations in  $V_f^{pr}$  (Fig. c). The unexplained variance is partly due to inaccuracies in the measuring techniques, partly to differences in the mineral and organic composition, and partly to differences in the biological pores and cracks with a volume which is not always insignificant.

CONCLUSION. — These results demonstrated the need to take both clay mineralogical content and fabric characteristics into account, in addition to clay content, in order to obtain a better estimation of soil water retention properties. This is possible using the field bulk volume, at near the field capacity, of undisturbed soils samples of which the variations are the same as those of the pore volume developed by clay fabric inside the soil materials studied.

I. INTRODUCTION. — Les études sur matériaux argileux modèles ont montré que le déterminisme des propriétés de rétention en eau des argiles ne pouvait pas être expliqué par la seule prise en compte de leurs propriétés à l'échelle du feuillet ou même du cristal, mais qu'il était nécessaire de tenir compte de l'arrangement des particules d'argile entre elles ([1], [2]). L'objectif de cette Note est de montrer que ce résultat est applicable aussi aux sols argileux, bien que la quantité, la nature et le mode d'organisation des particules d'argile y soient très différents suivant les cas.

II. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE. — Treize horizons de sols argileux, situés pour la plupart dans le Bassin Parisien, ont servi de support à cette étude. L'échantillonnage a été réalisé afin de couvrir une large gamme de teneurs en argile et de natures minéralogiques; les données globales concernant les divers échantillons sont présentées dans le tableau. Il a consisté à prélever des volumes *non perturbés* de dimensions décimétriques en période hivernale dans des horizons de moyenne profondeur (40-80 cm) et en conditions proches de la capacité au champ. Les échantillons ont ensuite été stockés de façon à préserver l'état d'hydratation où ils étaient *in situ* lors du prélèvement. Avant chaque série de déterminations, les échantillons ont été fragmentés à la main en mottes de quelques centimètres cubes de volume pour lesquelles l'organisation naturelle a été conservée [3]. Le volume massique de ces mottes ( $V_f^{pr}$ , cm<sup>3</sup>/g) a été déterminé à partir d'un lot de 15 mottes [4]. Les résultats ont été rapportés à la masse de l'échantillon séché à 105°C à l'étuve pendant 12 h. La quantité d'eau retenue par les mottes soumises à une pression pneumatique de 1,6 MPa ( $\theta^{1.6}$ ), c'est-à-dire à  $pF=4,2$  a été par ailleurs déterminée à l'aide d'un dispositif dont le principe de fonctionnement est celui de la presse à membrane de Richards ([1], [5]). Une pâte argileuse de kaolinite, préalablement ressuyée à 10 kPa, a été disposée sur la membrane pour établir une continuité satisfaisante entre celle-ci et les mottes. La pression a été appliquée durant 6 jours et en utilisant comme précédemment un lot de 15 mottes, afin d'obtenir des valeurs moyennes représentatives des volumes prélevés.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION. — (1) Notre objectif étant de discuter le rôle de l'argile sur les propriétés de rétention en eau, nous avons comparé les divers échantillons en étudiant leur aptitude à retenir l'eau lorsque celle-ci se trouve au sein de pores qui résultent de l'arrangement de la phase argileuse elle-même. On doit noter cependant que cette comparaison n'a de sens que si elle est effectuée pour un même état d'hydratation. Ces deux conditions sont remplies lorsque les échantillons étudiés sont soumis à une pression pneumatique de 1,6 MPa. En effet, pour cette valeur de pression, le potentiel matriciel de l'eau est le même pour tous les échantillons et la loi de Jurin permet de calculer la taille maximale des pores dans lesquels l'eau est retenue. La valeur du rayon de pore équivalent ainsi calculée est de 0,1  $\mu\text{m}$ . Il s'agit donc bien de pores suffisamment petits pour que l'on puisse affirmer qu'ils résultent de l'arrangement des particules d'argile.

L'eau étant retenue par la phase argileuse de l'échantillon, les variations de teneur en eau ( $\theta^{1.6}$ ) enregistrées entre les différents échantillons ont tout d'abord été attribuées à des différences dans leurs teneurs en argile (fraction inférieure à 2  $\mu\text{m}$ ). La figure a montre en effet que  $\theta^{1.6}$  croît grosso-modo linéairement avec la quantité d'argile. Le calcul du coefficient de corrélation indique que 74 % de la variance de  $\theta^{1.6}$  sont expliqués par la régression linéaire de  $\theta^{1.6}$  en fonction de la teneur en argile. La prise en compte de la seule fraction argile non calcaire ne permet pas d'améliorer la corrélation puisque l'on passe de 74 à 69 % de variance expliquée.

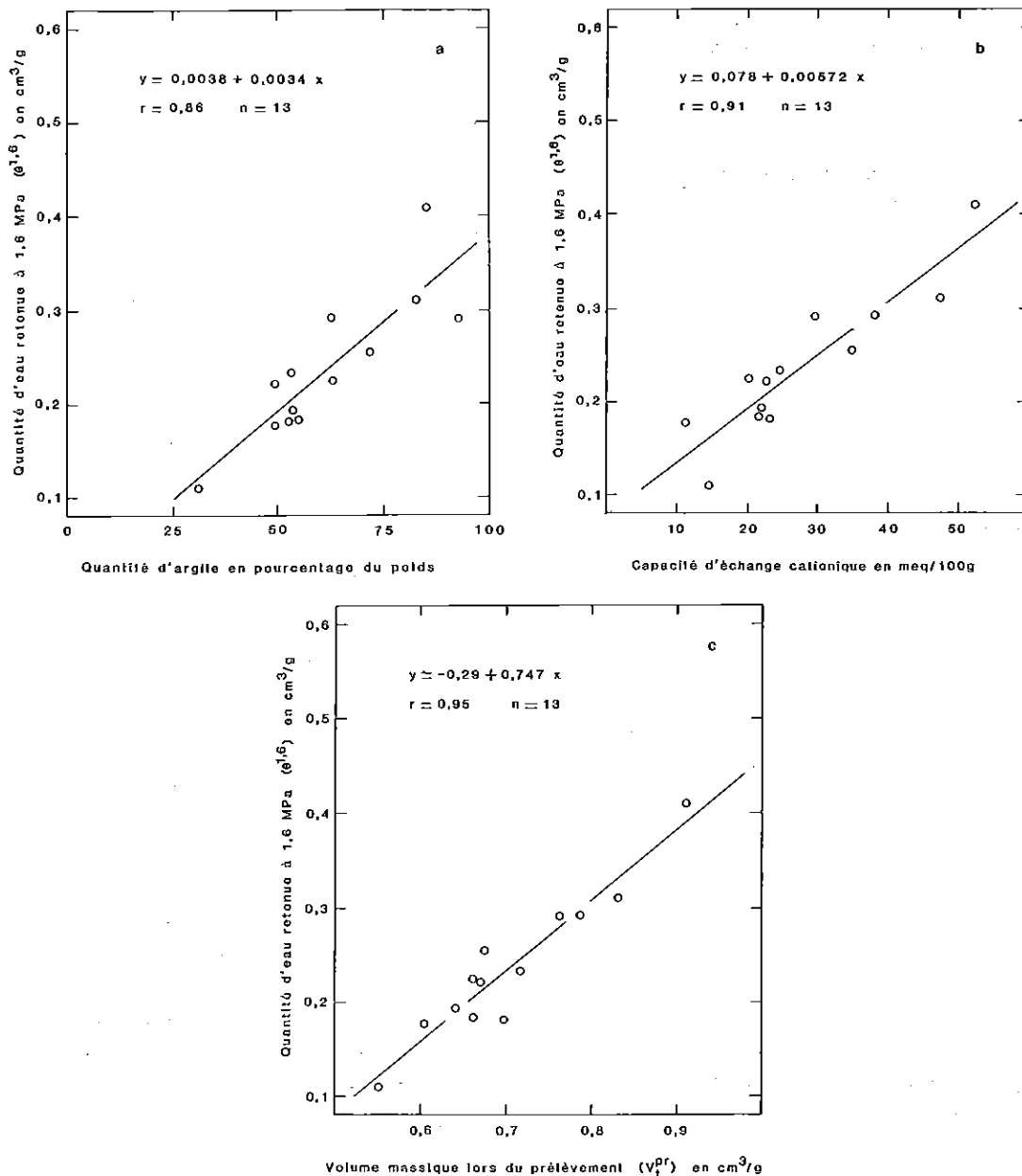
(2) Il découle de ceci que, les argiles ne retenant pas l'eau de la même façon [1], il devient de ce fait nécessaire de tenir compte à la fois de la quantité et de la nature de l'argile. La façon la plus simple de le faire consiste à étudier les variations de  $\theta^{1.6}$  en fonction de la capacité d'échange cationique des échantillons globaux (fig. b). La relation devient plus étroite qu'elle ne l'était avec la seule teneur en argile, puisqu'elle explique 83 % de la variance de  $\theta^{1.6}$ .

(3) Mais ce pourcentage de variance expliquée est encore insuffisant, ce qui signifie que d'autres facteurs sont susceptibles d'intervenir sur les propriétés de rétention en eau des constituants argileux des sols. Les résultats obtenus à partir de l'étude d'argiles de gisement ont montré en particulier que l'espace poral dans lequel se localise l'eau dépend effectivement de la nature de l'argile, mais aussi de son histoire hydrique qui déterminent son mode d'arrangement ([1], [2]). Il en résulte que pour améliorer la prédiction de  $\theta^{1.6}$ , il faut donc rechercher une caractéristique des échantillons qui soit liée, non seulement à la quantité d'argile et à sa nature, mais aussi à la façon dont la phase argileuse est organisée naturellement.

La grandeur que nous avons retenue comme étant la plus adaptée pour atteindre cet objectif est le volume poral développé par la phase argileuse ( $V_v^{\text{arg}}$ ) pour chaque échantillon, in situ et en conditions proches de la capacité au champ. Certes l'estimation de ce volume poral n'est pas accessible directement, mais elle peut être réalisée aisément à partir des valeurs de  $V_i^{\text{pr}}$ . En effet, pour les échantillons étudiés ici, il est possible de négliger le volume de pores biologiques et de fissures devant celui dû à la phase argileuse, en sorte que l'on peut écrire la relation suivante :

$$V_i^{\text{pr}} = V_v^{\text{arg}} + V_s^{\text{arg} + \text{sq}}$$

avec  $V_s^{\text{arg} + \text{sq}}$  égal au volume de la phase solide (argile et squelette). Ainsi, les seuls pores des divers échantillons sont ceux de la phase argileuse et  $V_i^{\text{pr}}$  varie de la même façon que  $V_v^{\text{arg}}$ . La figure c montre alors que la prise en compte des variations de  $V_v^{\text{arg}}$ , à l'aide de celles de  $V_i^{\text{pr}}$ , améliore effectivement la prédiction de  $\theta^{1.6}$ , puisqu'elle explique 90 %



Quantité d'eau retenue à 1,6 MPa en fonction de la teneur en argile des échantillons (a), de leur capacité d'échange (b) et de leur volume massique lors du prélèvement (c).

*Water content at 1.6 MPa versus the sample clay content (a), their cation exchange capacity (b) and their field bulk volume (c).*

de sa variance. La part de variance non expliquée est vraisemblablement due en partie à l'erreur faite sur  $V_v^{arg}$  qui, outre les sources d'erreur liées aux mesures proprement dites, repose sur des différences de volume massique de la phase solide entre les échantillons, et tient aussi au fait que les pores biologiques et fissuraux représentent en réalité, pour quelques-uns des échantillons, un volume faible mais non négligeable.

TABLEAU  
Caractéristiques des échantillons.  
*Characteristics of the samples.*

	Échantillons												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Teneur en calcaire total (g/100 g) . . .	0,0	0,0	0,5	0,0	0,9	9,5	26,7	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Fraction < 2 µm en % :													
sans décalcarification . . . . .	49,4	92,9	82,6	49,2	53,3	53,1	52,5	54,7	85,3	62,7	71,8	31,2	62,4
après décalcarification . . . . .	-	-	-	-	-	44,9	29,6	-	-	-	-	-	-
Capacité d'échange cationique (méq/100 g) de l'échantillon total.	11,2	29,6	47,4	22,6	22,0	24,6	23,2	21,6	52,3	20,3	34,7	14,6	38,1

IV. CONCLUSION. — Les résultats présentés dans cette Note montrent que dans les sols argileux, il est effectivement possible, en se référant aux caractéristiques des argiles, de prévoir les propriétés de rétention en eau dans le domaine énergétique correspondant à celui où l'eau est localisée dans les pores de la phase argileuse. Mais, la qualité de la prévision gagne en précision lorsque l'on tient compte de l'organisation acquise au cours de l'évolution pédogénétique, c'est-à-dire du mode d'arrangement des cristallites argileux. L'approche proposée consiste à caractériser à la fois la quantité d'argile, sa nature minéralogique et son organisation. C'est ce qui peut être réalisé aisément en se référant au volume poral développé par l'ensemble de la phase argileuse d'échantillons non perturbés, prélevés lorsque le sol est dans un état d'hydratation proche de la capacité au champ et, par là même, en conditions de gonflement maximal. L'analyse effectuée indique en définitive que la détermination de cette caractéristique dans les sols argileux peut être faite à partir de la mesure du volume massique d'échantillons prélevés *in situ* et alors que le sol est à son maximum de gonflement.

Note remise le 10 octobre 1988, acceptée le 20 octobre 1988.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] D. TESSIER, Étude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux. Hydratation, gonflement et structuration au cours de la dessiccation et de la réhumectation, *Thèse Sc.*, Paris-VII, 1984, 361 p.
- [2] G. PEDRO et D. TESSIER, *5th Meeting of the European Clay Group*, Prague, 1983, p. 417-428.
- [3] A. BRUAND et R. PROST, *J. Soil. Sci.*, 38, 1987, p. 461-472.
- [4] G. MONNIER, P. STENGEL et J. C. FIES, *Ann. agron.*, 24, (5), 1973, p. 533-545.
- [5] L. A. RICHARDS, *Soil Sci.*, 51, 1941, p. 377-386.

A. B. et D. B. : *Service d'Étude des Sols et de la Carte pédologique de France*,  
I.N.R.A., Ardon, 45160 Olivet;

D. T. : *Station de Science du Sol*, I.N.R.A., route de Saint-Cyr, 78000 Versailles.

