

CARACTERISATION DES MILIEUX GRANULAIRES PAR LA COURBE DE RETRAIT

BAHMED N.^{1,2}, AROUI H.¹, GRIMALDI M.¹, REJIBA F.²,
HOVHANNISSIAN G.¹

¹ IRD , UMR 242 IEES, 32, Av. Henri Varagnat, 93143 BONDY Cedex, FRANCE E-mails : nadjetbahmed@gmail.com; hanane.aroui@ird.fr; michel.grimaldi@ird.fr; gaghik.hovhannissian@ird.fr.

² UPMC, UMR 7619 METIS (UPMC/CNRS/EPHE), 4, Place Jussieu, 75252 PARIS Cedex, FRANCE. E-mail : faycal.rejiba@upmc.fr

RÉSUMÉ

Des échantillons cylindriques reconstitués de mélanges du sable de Fontainebleau avec différentes proportions d'argile (kaolinite et bentonite) ont été préparés et humidifiés, afin de suivre le retrait pendant leur dessiccation par un rétractomètre laser. Le retrait en hauteur et en diamètre des échantillons, ainsi que la variation du potentiel matriciel de l'eau ont été suivis pour obtenir la courbe de retrait volumique et la courbe de rétention d'eau. Un modèle, basé sur des paramètres physiques de comportement hydro-structural des sols, a été appliqué pour ajuster les courbes de retrait expérimentales, dans le but d'extraire les paramètres caractéristiques de la courbe de retrait, tels que la pente du retrait et le point d'entrée d'air, ainsi que les volumes occupés par différents types d'eau.

Mots clés : *courbe de retrait, potentiel de rétention d'eau, bentonite, kaolinite, échantillons reconstitués, types d'eau.*

ABSTRACT

GRANULAR MEDIA CHARACTERIZATION BY SHRINKAGE CURVE

Reconstituted cylindrical samples were prepared of Fontainebleau sand with different proportions of clay (kaolinite and bentonite), and then moistened, to follow shrinkage by a laser retractometer during their drying. The shrinkage in height and in diameter of the samples, and the variation of water matric potential were monitored to obtain the curve of volumic shrinkage and the water retention curve. A model, based on physical parameters characterizing the hydro-structural behavior of soil, was applied to fit the experimental shrinkage curves, with the aim to extract the characteristic parameters, such as the shrinkage slope, the air inlet point and the content of different types of water.

Key words: *shrinkage curve, water retention potential, bentonite, kaolinite, reconstituted samples, water types, retractometer.*

1. INTRODUCTION

Le sol est le produit de l'altération des couches supérieures de la croûte terrestre et constitue une interface entre le substratum rocheux et l'atmosphère. Les changements des conditions climatiques (température, précipitation, vent, etc.) au cours du temps modifient ses propriétés mécaniques et physiques. Il est admis que les variations d'humidité des sols argileux se traduisent par des phénomènes de retrait ou de gonflement. L'analyse de la courbe de retrait des sols contribue à la caractérisation de leurs propriétés physiques, en particulier, les caractéristiques hydro-structurales de ces milieux complexes.

Une nouvelle approche de l'interprétation de la courbe de retrait permet de caractériser quantitativement l'organisation structurale des milieux poreux en évaluant différents compartiments de l'espace poral et types d'eau associés (Braudeau et al, 2014). Cette courbe présente les variations du volume spécifique V_s en fonction de la teneur en eau W de l'échantillon de sol et permet de distinguer l'état d'hydratation de différents compartiments de sa structure, associé à chacune des phases de retrait linéaire et curviligne. La courbe typique de retrait d'un sol naturel est caractérisée par quatre phases principales : **interagrégats**, **structurale**, **basique** ou **du plasma argileux**, et **résiduelle**. A partir d'un grand nombre de données expérimentales et selon la présence ou l'absence de ces quatre phases, Peng et Horn (2013) ont identifié six formes de courbe de retrait qui caractérisent différents types de sol.

Une approche de caractérisation hydro-structurale a été appliquée dans la présente étude à des mélanges de sable avec différentes proportions d'argile de type kaolinite ou bentonite (groupe des smectites), afin d'évaluer l'influence de la nature des constituants argileux et leur teneur sur le comportement au retrait et d'autres propriétés mécaniques et hydriques des échantillons reconstitués.

2. MATERIELS ET METHODES

Les expériences ont été réalisées au laboratoire sur les échantillons reconstitués de mélanges du sable de Fontainebleau avec différentes proportions (10%, 25%, 40% et 50%) d'argile de type kaolinite ou bentonite. Les échantillons cylindriques de 100 cm³ de volume environ ont été préparés dans des anneaux de 5 cm de diamètre et de hauteur en ajoutant progressivement de l'eau aux mélanges. Ces éprouvettes ont ensuite été séchées pendant 24 heures à une température de 50°C pour pouvoir les démouler. Enfin, tous les échantillons ont été humectés à nouveau par capillarité sur des bacs à sable avec le même potentiel de l'eau, contrôlé par le niveau d'eau relatif à la base de l'échantillon ($h=-5$ cm). Les échantillons préparés de cette manière ne présentent pas de structure (ni agrégats) ; il s'agit d'assemblages de grains de sable avec les plasmas argileux relativement homogènes.

Les retraits volumiques des échantillons pendant leur dessiccation ont été suivis par un rétractomètre **TypoSoil** (Bellier et Braudeau, 2013 ; Assi et al, 2014). Cet équipement automatique permet de mesurer simultanément la hauteur, le diamètre, la masse et le potentiel de rétention d'eau de chacun des huit échantillons (toutes les 10 min. environ). Les mesures de haute précision du diamètre et de la hauteur sont assurées par des capteurs laser, et celles du potentiel matriciel de l'eau par un micro-tensiomètre. Les conditions d'évaporation de l'eau des échantillons sont maintenues

approximativement constantes dans une étuve fermée et ventilée, réglée à une température de 30°C.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Pour le cas général, et surtout pour les sols naturels structurés, la courbe de retrait est caractérisée par l'équation (1) :

$$V_s = V_0 + K_{bs} \cdot W_{bs}^{eq} + K_{st} \cdot W_{st}^{eq} + K_{ip} \cdot W_{ip} \quad (1)$$

où : V_0 est le volume spécifique de la pédostructure à la fin de la phase résiduelle du retrait ; K_{ip} , K_{st} et K_{bs} sont respectivement les pente des parties linéaires des phases **interagrégats**, **structurale** et **basique** (ou du **plasma**) définies sur la courbe de retrait ; W_{ip} , W_{st} et W_{bs} sont les teneurs en eau correspondant à ces trois

compartiments de la pédostructure. Les échantillons reconstitués de cette étude ne contiennent pas d'agrégat, ni de structure, ce qui implique l'absence des phases interagrégats et structurale sur les courbes de retrait qui les caractérisent. Les résultats obtenus sur les échantillons BS25 (75% sable et 25% bentonite) et KS25 (75% sable et 25% kaolinite) sont présentés sur la Fig. 1a et 1b.

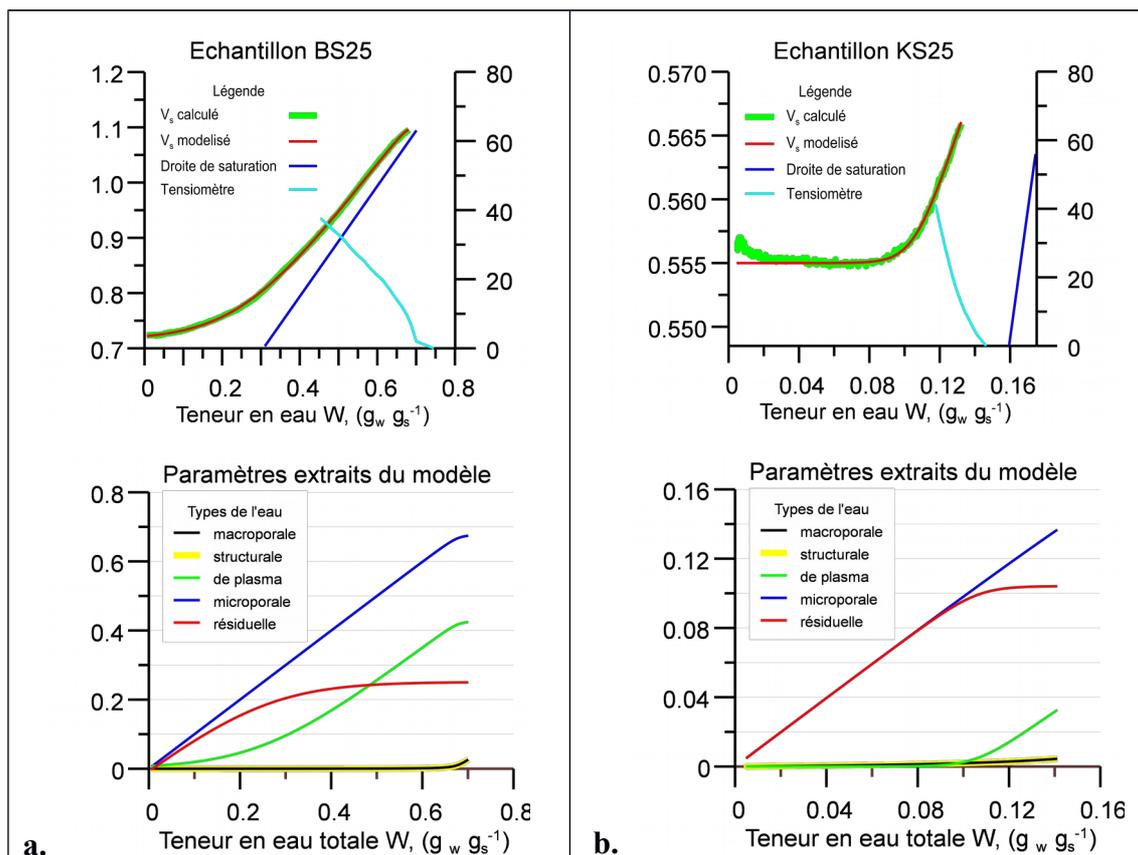


Fig. 1 – Courbes de retrait et paramètres extraits du modèle pour les mélanges : a. sable avec 25% de bentonite, b. sable avec 25% de kaolinite

Les courbes expérimentales de retrait obtenues ont été ajustées par la modélisation suivant l'équation (1). Cette procédure permet d'extraire des paramètres (comme les

teneurs en eau dans différents compartiments de l'espace poral des échantillons, l'amplitude du retrait, les pentes des parties linéaires du retrait, le point d'entrée d'air dans les pores), qui caractérisent le comportement hydro-structural des échantillons.

Les résultats montrent une amplitude du retrait plus importante pour l'échantillon BS25 par rapport à l'échantillon KS25. Les pentes du retrait pour les deux échantillons ne sont pas parallèles aux droites de saturation en eau.

La faible remontée du volume spécifique de l'échantillon KS25, observée aux plus faibles teneurs en eau, est très certainement due à l'affaiblissement des liaisons hydriques entre les particules. On peut également remarquer la différence de forme des courbes de rétention d'eau entre ces deux échantillons.

Les résultats de la modélisation concernant de l'eau dans les macropores W_{ma} et dans les espaces interagrégats W_{st} montrent des valeurs pratiquement nulles pour les deux échantillons. Les très faibles valeurs de W_{ma} au début de l'expérience représentent l'eau à la surface extérieure de chaque échantillon. Le retrait pour les deux échantillons est engendré par l'évaporation de l'eau contenue dans le plasma argileux W_{bs} . Cette eau est une eau de gonflement ; elle correspond à la différence entre les teneurs en eau microporale W_{mi} et résiduelle W_{re} .

Les formes des courbes et les rapports des amplitudes de retrait entre les mélanges à bentonite et à kaolinite sont caractéristiques de tous les échantillons, quelle que soit leur teneur en argile. L'analyse de ces résultats met en évidence des différences considérables entre les propriétés des mélanges à bentonite et à kaolinite vis-à-vis du phénomène de retrait, d'où l'importance de préciser la nature et pas seulement la teneur en argile pour prévoir le comportement physique des sols.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ASSI A.T., ACCOLA J., HOVHANNISSIAN G., MOHTAR R., BRAUDEAU E., 2014 - Physics of the soil medium organization, part 2: pédostructure characterization through measurement and modelling of the soil moisture characteristic curves. *Front. Environ. Sci.* v. 2, 5, 1-17, doi: 10.3389/fenvs. 2014. 00005.

BELLIER G., BRAUDEAU E., 2013 – Device for Measurement Coupled with Water Parameters of Soil. *WO2013/004927A1*. Geneva: World Intellectual Property Organization, WIPO.

BRAUDEAU E., ASSI A.T., BOUKSIM H., MOHTAR R.H., 2014 – Physics of the soil medium organization, part 1: thermodynamic formulation of the pédostructure water retention and shrinkage curves. *Front. Environ. Sci.* v. 2, 4, 1-17, doi: 10.3389/fenvs. 2014. 00004.

PENG X., HORN R., 2013 - Identifying Six Types of Soil Shrinkage Curves from a Large Set of Experimental Data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77:372–381, doi:10.2136/sssaj2011.0422.



9^{ème} COLLOQUE GEOFSCAN

13 - 14 Novembre 2014

Géophysique des Sols et des Formations Superficielles

organisé par l'UMR GEOPS de l'Université Paris-Sud

au bâtiment des Colloques de
la Faculté des Sciences d'ORSAY

