
Comparaison entre une méthode dynamique et une méthode statique pour la mesure de la courbe de rétention d'un sol non saturé

BOUCHEMELLA Salima^{1,3}, ALIMI-ICHOLA Ibrahim², SERBAH Boumediene³ & TAIBI Said³

¹Laboratoire INFRARES, Université de Souk Ahras. Algérie. Sali.bouchemella@gmail.com

²Laboratoire LGCIE, Insa de Lyon, France.

³Laboratoire Ondes et milieux complexes UMR CNRS 6294, Université du Havre Normandie, France

RÉSUMÉ. Ce travail présente une comparaison de la courbe de rétention d'un sable argileux mesurée par deux méthodes différentes. La première est une méthode statique qui consiste à déterminer les points de la courbe de rétention en imposant une succion donnée (méthode de solutions salines) ou une teneur en eau donnée (méthode de papier filtre) et attendre l'équilibre. Par contre, la détermination de la courbe de rétention dans le deuxième essai est effectuée lors d'une infiltration verticale dans une colonne de sol (méthode dynamique), par sectionnement de la colonne et par la pesée des anneaux de sol et les papiers filtres intercalés entre ces anneaux. Cette comparaison révèle que les points mesurés de la succion exprimée en pF et de la teneur en eau volumique par la méthode dynamique sont proches de ceux obtenus par la méthode statique. Bien que l'intervalle de la variation des points mesurés par la méthode dynamique soit dépendant de l'état initial du matériau, cette méthode permet néanmoins la détermination de la variation spatio-temporelle de la teneur en eau et de la succion (profils hydriques et de succion) et une estimation de la perméabilité du sol.

ABSTRACT. This work presents a comparison of the retention curve of clayey sand measured by two different methods. The first one defined as static method consists in determining the points of the retention curve by imposing a given suction (saline solutions method) or a given water content (filter paper method) and waiting for equilibrium. On the other hand, the determination of the retention curve in the second method is carried out during a vertical infiltration into soil column (dynamic method) by sectioning the column and weighing the rings of the soil and the filter papers which are intercalated between the rings. This comparison reveals that the measured points of suction expressed in pF and of volumetric water content by the dynamic method are close to those obtained by the static method. Although the interval between the variation of points measured by the dynamic method depend on the initial moisture state of the material, this method allows both the determination of the spatio-temporal variation of water content and suction (hydric and suction profiles), and the estimation of soil permeability.

MOTS-CLÉS : Courbe de rétention, Succion, Teneur en eau, Méthode statique, Méthode dynamique,

KEYWORDS: Retention curve, Suction, Water content, Static method, Dynamic method.

1. Introduction

Les sols non saturés sont caractérisés par leur comportement hydromécanique qui varie beaucoup avec la variation de la succion et de la teneur en eau du sol. La relation entre la teneur en eau et la succion est appelée la courbe de rétention. Elle exprime les variations d'intensité des forces capillaires et d'adsorption en fonction de la teneur en eau. La courbe de rétention est utilisée pour estimer les fonctions de perméabilité et de contraintes de cisaillement, qui sont essentiellement utilisées pour la modélisation du comportement des sols non saturés [FRE 93]; [BAR 99]. La courbe de rétention est fortement influencée par la texture des sols [GAR 02], l'état de densité initiale du sol [KAR 01], par la température qui doit être prise en considération dans les études des géo-structures énergétiques [LAL 03] ou encore le stockage de déchets radioactifs [Tang 05].

Ce travail présente une étude expérimentale pour la détermination de la courbe de rétention à partir d'un essai d'infiltration sur une colonne d'un sable argileux. Les points de cette courbe de rétention sont déterminés à partir des mesures simultanées de la teneur en eau du sol (par la pesée des anneaux contenant le sol), et de la succion matricielle (par la pesée des papiers filtres intercalés entre les anneaux). Cette méthode appelée dynamique parce que ces points sont déterminés au cours de l'infiltration à une profondeur donnée. Cette courbe est comparée à la courbe de rétention du même sol (sable argileux), mais mesurée par une méthode statique par [GAI 02]. Cette comparaison révèle que les points mesurés de la succion exprimée en pF et de la teneur en eau volumique par la méthode dynamique sont proches de ceux obtenus par la méthode statique.

2. Caractéristiques géotechniques du matériau utilisé

L'essai est effectué sur un sable argileux dont les caractéristiques géotechniques sont présentées sur le tableau 1. Ces essais d'identification sont effectués par [GAI 02].

Sol	% éléments < 80µm	% éléments < 2µm	w _p (%)	w _L (%)	I _p (%)	W _{opt} (%)	K _s (cm/mn)	θ _s (cm ³ /cm ³)	θ _r (cm ³ /cm ³)	(γ _d /γ _w)
Sable argileux	71	22	16.8	23.3	6.5	20	0.024	0.35	0.024	1.9

Tableau 1. Caractéristiques géotechniques du sable argileux

3. Procédure expérimentale

3.1. Premier essai: méthode statique

La détermination de la courbe de rétention par la méthode statique a été réalisée par Gaidi [GAI 02]. Elle consiste à imposer d'une part une succion donnée et de mesurer, après l'équilibre, la teneur en eau du sol correspondante en utilisant la méthode des solutions salines pour un intervalle de succion variant entre (8 et 340 MPa), et d'imposer d'autre part une teneur en eau donnée et de mesurer la succion correspondante à l'équilibre en utilisant la méthode du papier filtre [GAI 02].

3.2. Deuxième essai: méthode dynamique

Pour la détermination de la courbe de rétention par la méthode dynamique, un essai d'infiltration a été réalisé sur une colonne de sol (sable argileux) présentée sur la figure 1.a, obtenu par la superposition de 15 anneaux en plexiglas identiques de 15mm d'épaisseur et de 50mm de diamètre intérieur. Le sol est préparé à la teneur en eau désirée par l'ajout de l'eau déminéralisée. Le mélange est passé à travers un tamis de 2mm. Le sol est ensuite compacté à la densité voulue dans chaque anneau en se servant d'une presse hydraulique. Trois papiers filtres (Whatman n°42) saturés d'eau sont intercalés entre les anneaux. L'assemblage des anneaux est facilité par un système d'emboîtement prévu pour chaque anneau, afin d'assurer l'étanchéité de la colonne ainsi constituée, aux cours de l'infiltration. La colonne est serrée entre deux embases en dural afin de réaliser un contact parfait entre les anneaux et les papiers filtres. Le tout est emballé dans un sac étanche à tout échange avec l'extérieure pendant quelques jours pour que l'équilibre du potentiel de rétention entre le sol et le papier filtre soit atteint. La figure 1.b présente le schéma du montage de la colonne.

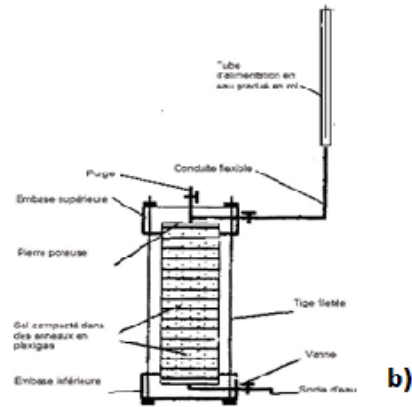
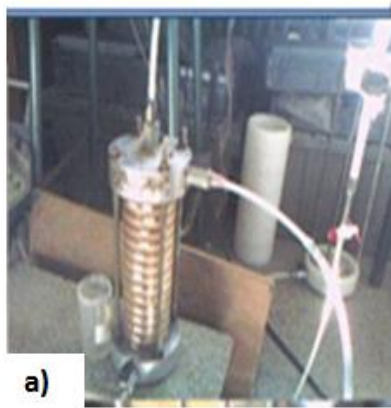


Figure 1. a) colonne d'infiltration du sable argileux.

b) Schéma de la colonne d'infiltration.

Après la période de mise en équilibre des potentiels, la pesée des anneaux et des papiers filtres est réalisée, avant l'essai d'infiltration, afin de définir les conditions initiales réelles en teneur en eau et en potentiel exprimé en pF. Ces conditions initiales sont indiquées sur le tableau 2.

Sol	Avant la mise en équilibre			Après la mise en équilibre		
	w(%)	γ_d / γ_w	θ_i	w(%)	γ_d / γ_w	θ_i
Sable argileux	6%	1.60	0.096	7.29	1.59	0.116

Tableau 2. Conditions initiales de l'essai d'infiltration

Le début de l'essai est défini dès la mise en contact de la face supérieure de la colonne avec l'eau. Celle-ci est assurée par une pierre poreuse recouverte d'un tissu préalablement saturé d'eau, montée sur l'embase supérieure et reliée par un tube en polyvinyle à un dispositif d'alimentation en eau. Une charge hydraulique de 20cm est appliquée à la surface. L'extrémité inférieure de la colonne repose, elle aussi, sur une embase en dural, munie d'une pierre poreuse sèche recouverte d'un tissu de rétention nulle, en communication avec l'atmosphère pour permettre l'évacuation de l'air et éventuellement recueillir l'eau à la sortie de la colonne de sol. On peut ainsi mesurer la perméabilité du sol à saturation.

La courbe de rétention du sable argileux dans cet essai est déterminée à partir des mesures prises simultanément de la teneur en eau du sol (par la pesée des anneaux contenant le sol), et de la succion matricielle (par la pesée des papiers filtres, intercalés entre les anneaux) au cours de l'infiltration à une profondeur donnée. Pour une profondeur de mesure, on a donc une paire de données associées à un temps précis et cette paire constitue un point de la courbe de rétention. Cette méthode de mesure est considérée comme une méthode dynamique contrairement aux deux méthodes statiques utilisées dans le premier essai.



Figure 2. a) Mesure de la teneur en eau par du par pesé de l'anneau

b) mesure de la succion par pesée du papier filtre

4. Résultats et discussions

L'évolution temporelle des succions exprimées en pF et des teneurs en eau volumiques dans les différentes sections de la colonne de sol pendant l'infiltration est présentée sur la figure 3. Ces points mesurés sont comparés à ceux obtenus par [GAI 02] et à la courbe de rétention calculée par le modèle de van Genuchten-Mualem (1980) [BOU 15a].

La figure montre clairement que les points mesurés de pF et de teneur en eau volumique par la méthode dynamique sont proches de ceux obtenus par la méthode statique et aussi de la courbe ajustée par le modèle empirique de van Genuchten –Mualem [VAN 80]. L'avantage de cette méthode est qu'elle permet à la fois la détermination de la courbe de rétention (figure 3), les profils hydriques et les profils de succion présentés respectivement sur les figures 4.a et 4.b, et l'estimation de la perméabilité à partir de la courbe d'infiltration lorsque celle-ci atteint le régime permanent en utilisant la loi de Darcy [BOU 15b].

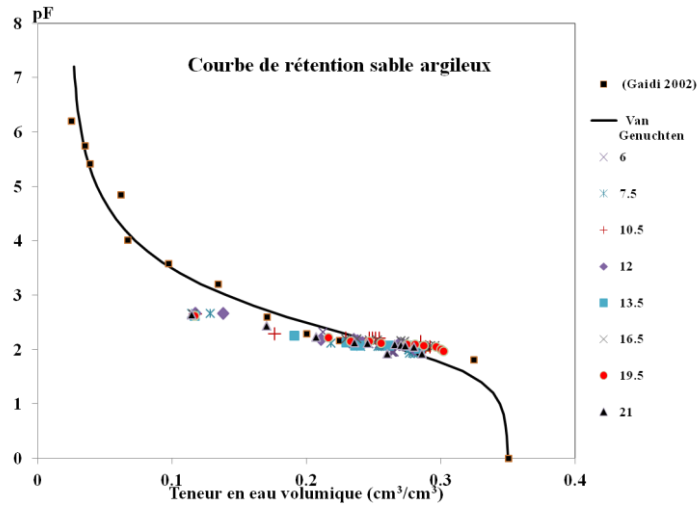


Figure 2. Courbe de rétention du sable argileux

L'inconvénient de la méthode dynamique est que l'intervalle des variations des points obtenus dépend de l'état initial du sol (teneur en eau et succion initiales) et la teneur en eau et la succion maximale atteinte lors de l'essai. Ce qui rend l'utilisation de la méthode dynamique pour l'obtention d'une courbe de rétention variant d'une teneur en eau initiale proche de la teneur en eau résiduelle jusqu'à la teneur en eau à saturation, difficile pour les sols fins (infiltration très lente à cause de la faible perméabilité).

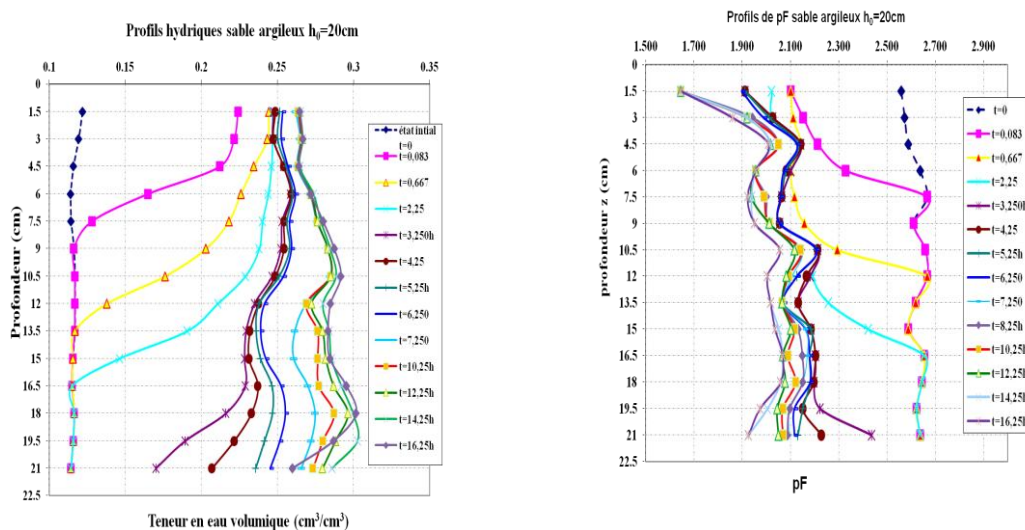


Figure 3. a) profils hydriques du sable argileux

a) profils de succion du sable argileux

5. Bibliographie

- [BAR 99] BARBOUR, S.L. "The soil-water characteristic curve - A historical perspective". *Canadian Geotechnical Journal*. 35, 1999. pp 873-894.
- [BOU 15a] BOUCHEMELLA S , ALIMI-ICHOLA I. and SERID A. " Numerical simulation of water flow in unsaturated soils: comparative study of different forms of Richards's equation" *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 19 (1) 2015. pp 1-26 : DOI: 10.1080/19648189.2014.926294.
- [BOU 15b] BOUCHEMELLA S. Contribution à la simulation numérique des écoulements des eaux dans les milieux poreux non saturés. Thèse de Doctorat, Université de Guelma. Algérie. 2015.
- [BRU 56] BRUCE R.R., and KLUTE A., "The measurement of soil diffusivity". *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Vol. 20, (1956). 33. PP 458-462.
- [FRE 93] FREDLUND D.G. & RAHARDJO H. "Soil mechanics for unsaturated soils" A Wiley- Interscience Publication, JOHN WILEY & SONS, INC. 1993.
- [GAR 02] GARDNER W.R. "Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table". *Soil Science*, (85), 1958. pp 228-232.
- [GAI 00] GAIDI L., and ALIMI-ICHOLA I., Etude des caractéristiques hydrodynamiques des sols par la méthode TDR (Time Domain Reflectometry) . *Bulletin of engineering geology and Environment*, V. 59, N° 3, 2000. pp 247-255.
- [GAI 02] GAIDI L., Transfert par infiltration de l'eau et du soluté dans les sols non saturés, utilisation de la méthode TDR Thèse de Doctorat, LGCIE, Insa- Lyon, France. 2002.
- [KAR 01] KARUBE D. & KAWAI, K. "The role of pore water in the mechanical behavior of unsaturated soils". *Geotechnical and Geological Engineering*, 19, 2001, pp 211–241.
- [LAL 03] LALOU L., MORENI, M. & VULLIET L. « Comportement d'un pieu bi-fonction, fondation et échangeur de chaleur ». *Canadian Geotechnical Journal*, 40, 2003. pp 388–402.
- [Tang 05] TANG, A.M. « Effet de la température sur le comportement des barrières de confinement ». Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France. 2005.