

DETERMINATION DES PROPRIETES HYDRODYNAMIQUES DES VERTISOLS DE GUADELOUPE COMPARAISON DE DIFFERENTES METHODES DE LABORATOIRE

GARNIER Patricia ⁽¹⁾, RUY Stephane ⁽²⁾ et BELLIER Gérard ⁽³⁾

⁽¹⁾ INRA, Unité d'Agronomie, rue Fernand Christ, 02007 Laon Cedex,

⁽²⁾ INRA, Unité de Science du Sol, Site Agroparc, 84914 Avignon Cedex 9,

⁽³⁾ Centre IRD Ile de France, 32 avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy Cedex

RESUME

Deux méthodes, (M1) et (M2), de laboratoire sont comparées pour la caractérisation hydrodynamique de sols déformables (vertisols de Guadeloupe) représentée par les courbes de retrait, de rétention et de conductivité hydraulique. Dans (M1), les 3 courbes sont mesurées indépendamment et de façon directe en utilisant une description eulérienne ; dans (M2), les 3 courbes sont déterminées simultanément de façon directe (courbe de retrait à partir des variations dimensionnelles linéaires) ou inverses en utilisant une description lagrangienne. Les courbes de retrait sont différentes selon la méthode utilisée, (M2) décrivant plus précisément la phase de retrait structural. La porosité structurale déterminée par (M2) semble cependant surestimée. Les courbes de rétention et de conductivité hydraulique déterminées par (M1) et (M2) sont proches lorsque ces grandeurs sont exprimées par rapport au taux d'humidité alors qu'elles sont différentes lorsqu'elles sont exprimées par rapport à la teneur en eau volumique, car cette dernière est calculée à partir de la courbe de retrait qui est différente selon la méthode. Le bon accord entre (M1) et (M2) pour la conductivité hydraulique valide la description eulérienne de (M1) et montre l'adéquation de (M2) aux échantillons non remaniés.

Mots clés : courbe de retrait, sol argileux gonflant, conductivité hydraulique, structure, repère eulérien, repère lagrangien.

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE HYDRAULIC PROPERTIES OF VERTISOL FROM GUADELOUPE : COMPARISON OF DIFFERENT LABORATORY METHODS

Two laboratory methods that determine hydraulic properties of swelling soils were compared. They measure the shrinkage curve, the retention curve and the hydraulic conductivity curve. The three hydraulic properties of vertisol from Guadeloupe were obtained either in an independent way by (M1) where shrinkage curve was measured using petroleum method or in a simultaneous way with (M2) where shrinkage curve was measured from horizontal and vertical deformation sensors. The shrinkage curves obtained from both methods were different, the structural shrinkage being more precisely described by (M2). However, (M2) over-estimated the volume of structural porosity. Retention and hydraulic conductivity curves were close if they were expressed in terms of moisture ratio but were different if they were expressed in term of

volumetric water content. This comes from the fact that volumetric water content was calculated using the shrinkage curve that was different with both methods. As the agreement between both methods for the hydraulic conductivity was very good, we conclude (i) that the eulerian description of water flow in (M1) is validated, and (ii) that (M2) can be used on non-remolded soil samples.

Keywords: *swelling curve, shrinkage, structure, hydraulic conductivity, eulerian description, lagrangian description.*

1. INTRODUCTION

L'objectif de notre étude est de comparer deux méthodes de laboratoire pour la détermination des propriétés hydrodynamiques de sols déformables. Celles-ci sont la courbe de retrait, la courbe de rétention et la courbe de conductivité hydraulique. Les résultats de la première méthode (M1) développée par RUY & CABIDOCHÉ (1998) sur des échantillons de sol non remanié n'ont jamais été confrontés avec les résultats d'autres méthodes. Le premier objectif est donc de valider (M1). La deuxième méthode (M2) décrite par GARNIER *et al.* (1997b) a été testée sur des échantillons de sol remanié. Le second objectif est donc de tester (M2) sur des échantillons non remaniés. Nous avons confronté les résultats des deux méthodes sur des échantillons prélevés dans l'horizon B d'un vertisol calcique de Guadeloupe.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Sol

Nous avons mesuré les propriétés hydrodynamiques de vertisols de Guadeloupe décrit par RUY (1997). Le sol contient 80% d'argile dont 60% de beidellite. Il est constitué par 3 compartiments de porosité : une porosité texturale matricielle responsable du retrait normal ou principal, une porosité structurale intra-massif d'origine biotique relativement stable et des macro-fissures, conséquences macroscopiques du retrait normal.

2.2 Méthode 1 (RUY & CABIDOCHÉ, 1998)

Les 3 courbes caractéristiques sont déterminées indépendamment les unes des autres par trois méthodes directes : (i) la courbe de retrait est déterminée par la méthode au pétrole sur un ensemble d'agrégats centimétriques prélevés au champ ; (ii) la courbe de rétention est obtenue par des équilibres successifs par la méthode de la table à succion et de presse de Richard ; (iii) la courbe de conductivité hydraulique est déterminée par une méthode destructrice basée sur la détermination des profils instantanés qui étend aux déformations 3D la description eulérienne utilisé par NAKANO *et al.* (1986) pour un gonflement 1D.

2.3 Méthode 2 (GARNIER *et al.*, 1997b)

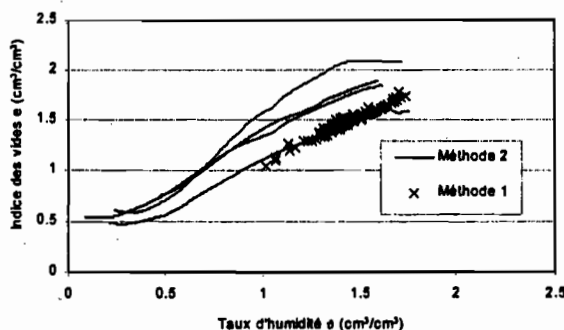
Les 3 courbes caractéristiques sont déterminées simultanément. Des échantillons cylindriques de hauteur et de diamètre de 5 cm ont été prélevés au champ à une teneur en eau proche de la saturation. La courbe de retrait est déterminée à partir de mesure de déformations linéaires horizontales et verticales à l'aide de capteurs lasers. Les courbes de rétention et de conductivité hydraulique sont déterminées pendant la même expérience en utilisant une méthode inverse associant un modèle de transfert dans les sols déformables (GARNIER *et al.*, 1997a) basé sur une description lagrangienne. La méthode inverse utilise les données expérimentales obtenues par deux tensiomètres implantés vers la surface et vers la base de l'échantillon ainsi que le flux évaporatoire.

3. RESULTATS-DISCUSSION

3.1 Courbes de retrait

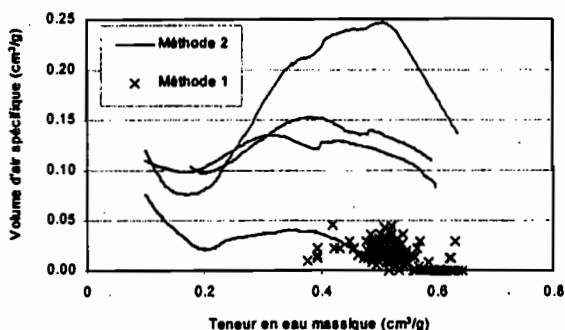
Les courbes de retrait obtenues par (M2) montrent une grande variabilité sauf près du point d'entrée d'air où elles se rassemblent (Figure 1). Dans l'ensemble elles sont différentes de celle obtenue par (M1) qui est proche de la droite de saturation. Pour une même teneur en eau, l'indice des vides est plus important lorsqu'il est mesuré par déformation linéaire sur des échantillons cylindriques que par pesée hydrostatique avec la méthode au pétrole sur des mottes. Ces résultats sont en accord avec ceux de CRESCIMANNO et PROVENZANO (1999). (M2) met en évidence une déformation structurale liée à la présence de macropores peu déformables, alors que ce retrait structural n'apparaît pas avec (M1) du fait de la forte variabilité inter-mottes de la porosité structurale (RUY, 1997).

Fig. 1 - Courbes de retrait qui exprime l'indice des vides e (volume des vides / volume de la phase solide) en fonction du taux d'humidité θ (volume d'eau / volume de la phase solide) obtenues avec les deux méthodes.



La figure 2 exprime la relation entre le volume d'air spécifique (volume d'air / masse sèche) par rapport à la teneur en eau massique (volume d'eau / masse sèche). Les échantillons de la méthode 2 ont un volume d'air plus grand que celui obtenu par la méthode 1 qui reste proche de 0. Le volume d'air spécifique mesuré par la méthode 2 est un peu supérieur au volume spécifique de la porosité structurale obtenu par RUY (1997) de $0.1 \text{ cm}^3/\text{g}$. Ces différences s'expliquent essentiellement par la différence de taille des échantillons ($15\text{-}30 \text{ cm}^3$ pour (M1), 100 cm^3 pour (M2)). Les fortes valeurs de porosité structurales trouvées par (M2) semblent surestimées.

Fig. 2 - Porosité structurale (exprimée en terme de volume spécifique d'air) obtenue au cours du retrait en fonction de la teneur en eau massique



3.2 Courbes de rétention

Les courbes de rétention déterminées par les deux méthodes sont décalées lorsqu'elles sont exprimées par rapport à la teneur en eau volumique (volume d'eau / volume de sol). Pour un même potentiel matriciel, θ_v est plus importante avec (M1). Lorsque les courbes sont exprimées par rapport au taux d'humidité θ (Volume d'eau / volume de sol sec), elles sont très proches. Cela tient au fait que θ_v est calculée à partir de θ et de l'indice des vides e ($\theta_v = \theta / (e+1)$). Pour un même taux d'humidité, e est plus faible dans le cas (M1) que pour (M2) et donc θ_v est surestimée par (M1) par rapport à (M2). Cela montre la nécessité lorsque l'on compare des résultats obtenus sur des échantillons de taille différente de travailler sur des variables relatives à une quantité de solide constante (masse de solide lorsque l'on travaille sur les volumes spécifiques, volume de solide lorsque l'on travaille sur les indice de vide et taux d'humidité).

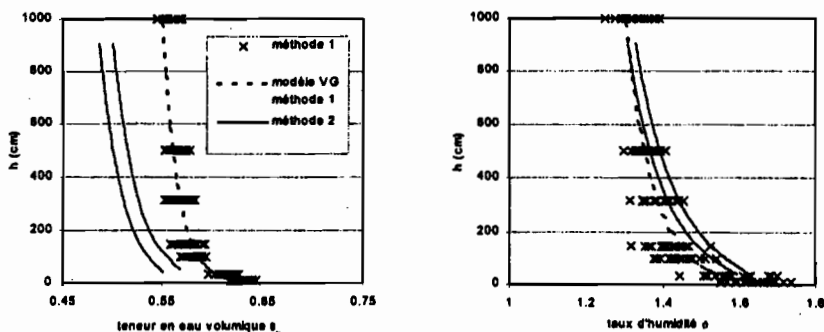


Fig. 3 - Courbes de rétention obtenues avec les deux méthodes exprimées en fonction de la teneur en eau volumique ou du taux d'humidité.

3.3 Courbes de conductivité hydraulique

Nous retrouvons les résultats déjà obtenus pour la courbe de rétention : les courbes sont très comparables lorsque les grandeurs sont exprimées par rapport au taux d'humidité et décalées lorsqu'elles sont exprimées par rapport à la teneur en eau volumique.

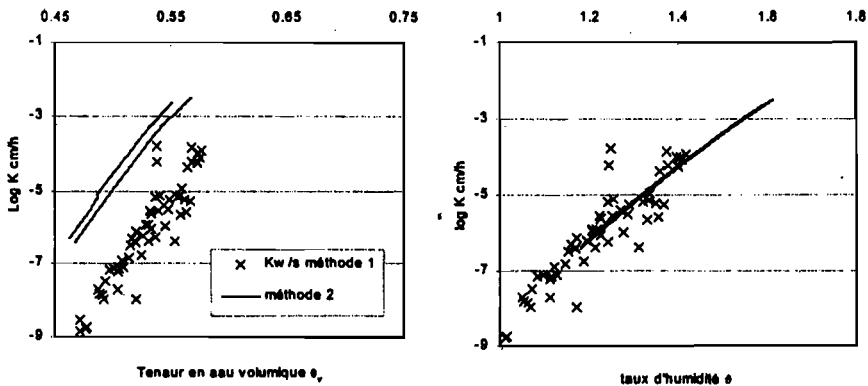


Fig. 4 - Courbes de conductivité hydraulique obtenues avec (M1) et (M2) exprimées en fonction de la teneur en eau volumique ou du taux d'humidité.

3.4 Comparaison des deux méthodes

Tab. 1 - Comparaison des deux méthodes de mesures des 3 propriétés hydrodynamiques de sol déformables

	Méthode 1	Méthode 2
Détermination hydrodynamique	directe	inverse
Intervalle de mesure	-10 000 cm – 0 cm	-800 cm – 0 cm
Durée		
-courbe de retrait	Immédiate	1 semaine dont
-courbe de rétention	Plusieurs jours	3 jours
-courbe de conductivité	10 jours	3 jours
Nombre de méthodes expérimentales	3	1
Anisotropie	Non mesurée	mesurée
Nombre d'échantillons	1 série	1 minimum

Le tableau 1 résume et compare les deux méthodes développées. Le principal avantage de (M1) tient en la large gamme de teneur en eau et de potentiel matriciel sur laquelle est faite la mesure. Son principal inconvénient est la lourdeur de sa réalisation du fait qu'elle utilise plusieurs méthodes différentes. Le principal avantage de (M2) est sa rapidité et le fait qu'elle utilise un seul dispositif expérimental. Son principal inconvénient tient en la gamme limitée de potentiel matriciel.

4. CONCLUSION

Les courbes de retrait obtenues par les deux méthodes sont différentes. Les courbes de rétention et de conductivités hydrauliques montrent un bon accord si elles sont exprimées en fonction du taux d'humidité mais sont différentes si elles sont exprimées en fonction de la teneur en eau volumique car leurs courbes de retrait sont différentes. Le très bon accord pour ces courbes montre (i) que la validité de la description eulérienne utilisée par (M1), précédemment établie pour des transferts et déformations 1D verticales, est étendue aux transferts 1D et déformations 3D, et (ii) que (M2) peut être utilisée sur des échantillons non remaniés. Enfin, la surestimation probable de la porosité structurale par (M2) doit être expliquée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CRESCIMANNO G., PROVENZANO G., 1999 - Soil shrinkage characteristic curve in clay soils : Measurement and Prediction - *Soil Science Society of America Journal* 63, 25-32.
- GARNIER P., PERRIER E., ANGULO-JARAMILLO R., BAVEYE P., 1997a - Numerical model of 3-dimensional anisotropic deformation and dimensional water flow in swelling soils - *Soil Science*, 162(6), 410-420.
- GARNIER P., RIEU M., BOIVIN P., VAUCLIN M., BAVEYE P., 1997b - Determining the hydraulic properties of a swelling soil from a transient evaporation experiment *Soil Science Society of America Journal*, 61, 1555-1563.
- NAKANO M, AMEMIYA Y., FUJII K., 1986 - Saturated and unsaturated hydraulic conductivity of swelling clays - *Soil Science*, 141(1), 1-6.
- RUY S., 1997 - Les trois voies simultanées de l'infiltration dans un vertisol de Guadeloupe : étude expérimentale et numérique - *Thèse de doctorat de l'Université de Montpellier II*.
- RUY S., CABIDOUCHE Y.M., 1998 - Hydraulic conductivity of the matric porosity of an unsaturated vertisol : a field and laboratory comparison - *European Journal of Soil Science*, 49, 175-185.
-

MILIEUX POREUX ET TRANSFERTS HYDRIQUES

BULLETIN DU GROUPE FRANCOPHONE HUMIDIMETRIE
ET TRANSFERTS EN MILIEUX POREUX

NOVEMBRE 2002

