



HAL
open science

Mesure in situ de l'anisotropie des mouvements d'un vertisol calcique de la Guadeloupe lors des phases d'humectation et de dessiccation

Stephane Ruy, Yves-Marie Cabidoche, Thierry Bajazet, J. André

► To cite this version:

Stephane Ruy, Yves-Marie Cabidoche, Thierry Bajazet, J. André. Mesure in situ de l'anisotropie des mouvements d'un vertisol calcique de la Guadeloupe lors des phases d'humectation et de dessiccation. Milieux poreux et transferts hydriques - Bulletin du Groupe français d'humidimétrie neutronique et des techniques associées, 2002, 48, pp.121-127. hal-02677488

HAL Id: hal-02677488

<https://hal.inrae.fr/hal-02677488v1>

Submitted on 31 May 2020

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.

Copyright

MESURE IN SITU DE L'ANISOTROPIE DES MOUVEMENTS D'UN VERTISOL CALCIQUE DE LA GUADELOUPE LORS DES PHASES D'HUMECTATION ET DE DESSICATION

RUY S.⁽¹⁾, CABIDOCHÉ Y.M.⁽²⁾, BAJAZET T.⁽²⁾, ANDRÉ J.⁽²⁾

⁽¹⁾ INRA, Unité Climat Sol et Environnement, Bâtiment Sol, Domaine St Paul, Agroparc, 84914 Avignon Cedex9, France

⁽²⁾ INRA, Unité AgroPédoClimatique de la zone Caraïbe, Domaine Duclos, Prise d'Eau, 97 170 Petit Bourg, Guadeloupe - Antilles Françaises

RÉSUMÉ

Dans les vertisols, il est nécessaire de connaître le tropisme des déformations (modélisation de l'infiltration, suivi de l'humidité à partir des variations d'épaisseurs). Des capteurs de déplacement horizontaux et verticaux (capteurs THERESA) ont été implantés sur un monolithe naturel de vertisol calcaïque de Guadeloupe, de taille métrique et délimité par des macro-fissures verticales. Les mesures ont été réalisées au pas de temps horaire sur plusieurs mois. Quelque soit la profondeur, la variabilité spatiale des déformations verticales est supérieure à celle des déformations horizontales. Ceci est attribué à des redistributions internes au sein du monolithe de sol qui sont enregistrées par les capteurs verticaux, alors que les capteurs horizontaux n'enregistrent que la déformation globale du monolithe. Lorsque les fissures sont saturées, on observe la réhumectation latérale du monolithe. En moyenne, les déformations verticales sont supérieures aux déformations horizontales, alors que le retrait mesuré au laboratoire sur des cylindres élémentaires est isotrope. Ceci peut s'expliquer par l'existence de faces de glissement principales non horizontales.

Mots clés : courbe de retrait, infiltration, sol argileux gonflant, variabilité spatiale, structure

ABSTRACT

In swelling clay soils, water flow simulation or moisture calculation from soil layer thickness requires the knowledge of the anisotropy ratio of soil movements. Horizontal and vertical movement sensors were fitted on a massive prism of a vertisol from Guadeloupe. Measurements were performed for several months under natural conditions and under rain simulation. Whatever the depth, the variability of vertical transducers is always greater than the one of horizontal sensors. This is due to inner water redistribution from structural to matrix porosity which are measured locally by vertical transducers, whereas the horizontal ones only measure the global deformation of the soil monolith. When macro-cracks are water filled, we observe the horizontal water absorption by the soil monolith. On average, vertical movements are slightly greater than horizontal ones, whereas the isotropy of the deformations of small cylindrical cores is checked in the laboratory. This can be due to the existence of oblique main slickensides ("bowl model").

Keywords : swelling curve, shrinkage, infiltration, structure, spatial variability

1. INTRODUCTION

L'étude et la modélisation des transferts hydriques dans les sols argileux gonflants nécessite la connaissance de quatre paramètres: (i) la courbe de conductivité hydraulique et (ii) la courbe de rétention décrivent classiquement les transferts hydriques ; (iii) la courbe de retrait relie les variations de volume d'un échantillon de sol à ses variations d'humidité ; (iv) la connaissance du tropisme des déformations permet de répartir les déformations volumiques en déformations horizontales (ouverture/fermeture de fissures) et déformations verticales (subsidence). Ce tropisme s'exprime par un coefficient différent selon les auteurs : BRONSWIJK (1990) définit le coefficient d'anisotropie r_s par l'équation 1 ; CABIDOCHÉ et VOLTZ (1995) définissent un coefficient k par l'équation 2, la relation entre r_s et k étant donnée par l'équation 3 :

$$1 - \frac{\Delta V}{V} = \left(1 - \frac{\Delta z}{z}\right)^{r_s}$$

eq. 1

$$k = \frac{\frac{\Delta x}{x}}{\frac{\Delta z}{z}} = \frac{\frac{\Delta y}{y}}{\frac{\Delta z}{z}}$$

eq. 2

$$r_s = 1 + 2 \cdot k$$

eq. 3

où ΔV est la variation du volume V , et Δx , Δy , Δz sont les variations des dimensions x , y (horizontal) et z (vertical) respectivement.

Les agrégats sont généralement considérés isotropes vis-à-vis des mouvements de retrait-gonflement (HALLAIRE 1888). Il en est de même en ce qui concerne les échantillons non remaniés de sol (YULE et RITCHIE, 1980a). Si l'équidimensionnalité des mouvements de retrait - gonflement d'échantillons ou d'agrégats est facilement vérifiable au laboratoire (HALLAIRE 1988, BRONSWIJK, 1990 ; GARNIER *et al.*, 1997 ; MICHEL *et al.*, 2000), il n'en est pas de même au champ. La représentativité au champ des mesures de laboratoire n'étant pas assurée, et la mesure directe de l'anisotropie au champ étant très difficile, il est nécessaire de caler ce coefficient (CABIDOCHÉ & VOLTZ, 1995). L'hétérogénéité spatiale de l'humidité et des mouvements verticaux rendent cependant très difficile sa détermination précise (CABIDOCHÉ & VOLTZ, 1995 ; FAVRE *et al.*, 1997). Dans cette intervention, nous décrivons une expérimentation permettant la détermination directe du coefficient d'anisotropie des déformations de sol in situ, lors de phases de dessiccation et de réhumectation.

2. MATERIEL ET METHODES

Le sol est un vertisol calcique du domaine expérimental de Gardel de l'INRA de Guadeloupe (% Argile > 80 %). Sous l'effet du dessèchement, un réseau de macro-fissures apparaît selon une maille de plusieurs décimètres. Le réseau des macro-fissures a été repéré à la fin de la saison sèche. Plusieurs monolithes ont été isolés du reste de la parcelle par une coque en résine et fibres de verre. Une plaque rigide en inox percée de fenêtres a été insérée sur une des faces afin de permettre l'implantation des capteurs de déplacement. Une description globale est donnée dans RUY *et al.* (1999). Des capteurs de déplacements potentiométriques ont été installés sur la plaque inox à 7, 27, 47, 67, 87 cm de profondeurs (3 répétitions) afin de mesurer les variations d'épaisseurs. Ces mêmes capteurs ont équipé des capteurs THERESA[®] modifiés afin d'enregistrer les variations

d'épaisseurs de différentes couches de sol (3 capteurs à 10-30 cm, 6 capteurs à 30-50 cm, 6 capteurs à 50-70 cm, 3 capteurs à 70-90 cm). Toute l'instrumentation était reportée sur un même monolithe (**figure 1**). Les mesures ont duré une année, alternant des périodes d'humectation et dessiccation naturelles et des mesures sous simulation de pluie (RUY *et al.*, 1999).

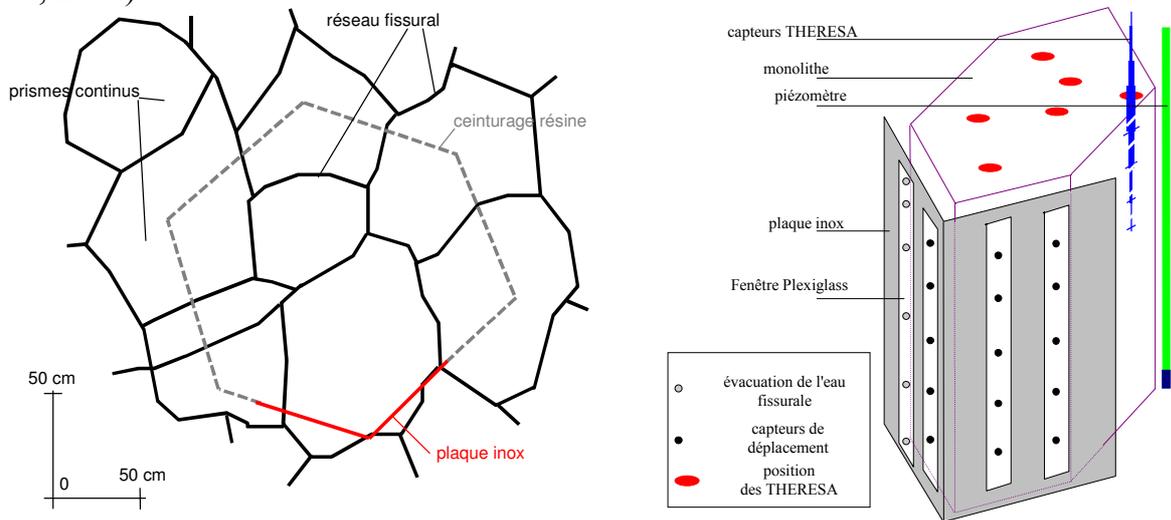


Fig. 1 : schéma du dispositif expérimental

3. RESULTATS

Quelle que soit la profondeur, nous observons une forte hétérogénéité des mesures des capteurs verticaux (**figure 2**).

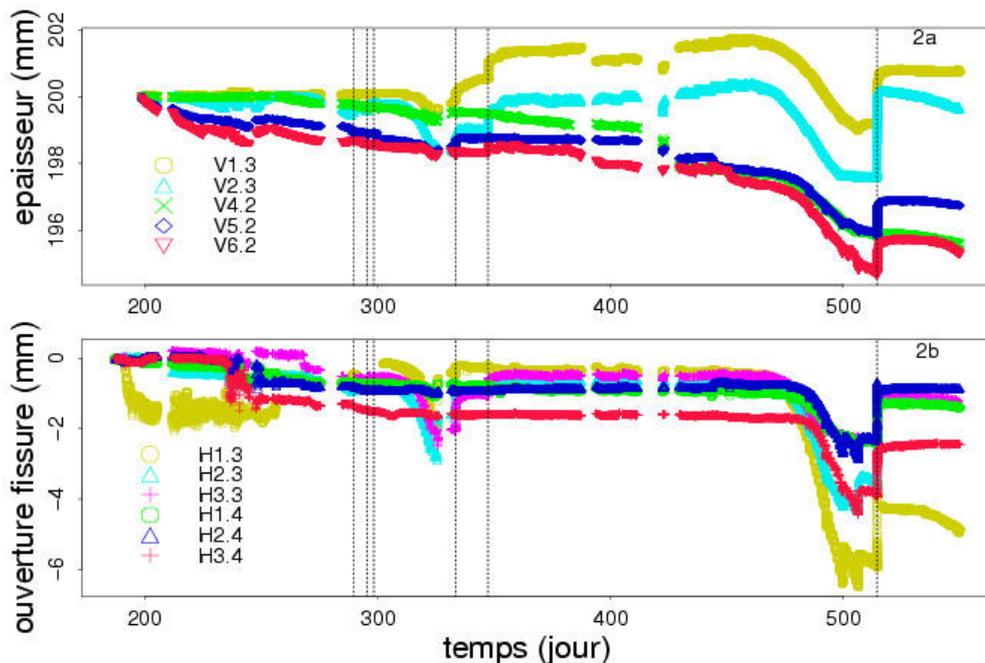


Fig. 2 : évolution de l'épaisseur de la couche 50-70 cm (2a) et de la largeur du massif aux profondeurs 47 cm (Hx.3) et 67 cm (Hx.4) (2b)

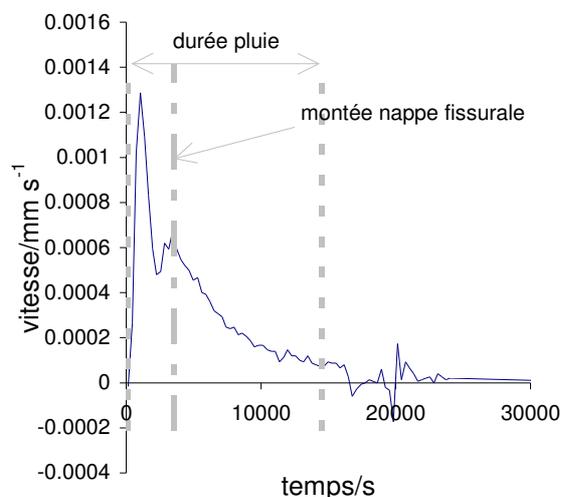
Cette variabilité ne peut pas s'expliquer par l'implantation des capteurs dans le prisme par rapport au bord de la fissure. En effet, dans aucune des expériences un écoulement

fissural a été observé. Ceci signifie donc que les transferts ont été monodimensionnels verticaux et que l'hypothèse d'une réhumectation latérale par les fissures ne peut être retenue. Nous avons attribué la variabilité de la réponse des capteurs verticaux à la seule hétérogénéité horizontale de la porosité structurale, l'hypothèse d'un écoulement préférentiel le long des capteurs étant rejetée. Ceci est en accord avec la forte variabilité de la porosité structurale que nous avons mesurée.

Quelle que soit la profondeur, la variabilité des mouvements enregistrés par les différents capteurs horizontaux est faible. Si l'amplitude des mouvements peut varier, en revanche les cinétiques sont très comparables, que ce soit en humectation ou en dessiccation, contrairement aux capteurs verticaux. Lorsque l'on examine la couche 50-70 cm entre les jours 450 et 480, certains capteurs verticaux enregistrent un gonflement (V1.3 et V2.3), d'autres un retrait (V6.2) alors que les capteurs horizontaux n'enregistrent pas de mouvements. Ceci correspond alors à une redistribution matricielle à l'intérieur de la couche, sa teneur en eau moyenne restant constante. Ceci montre encore une fois la forte hétérogénéité horizontale de la porosité structurale.

En présence d'eau dans les fissures, on observe une augmentation de la vitesse de gonflement d'une couche de sol donnée lorsque le niveau de l'eau dans la fissure atteint la côte étudiée (**figure 3**), ce qui montre que la réhumectation matricielle par le ruissellement le long de la fissure est négligeable au dessus de la surface libre.

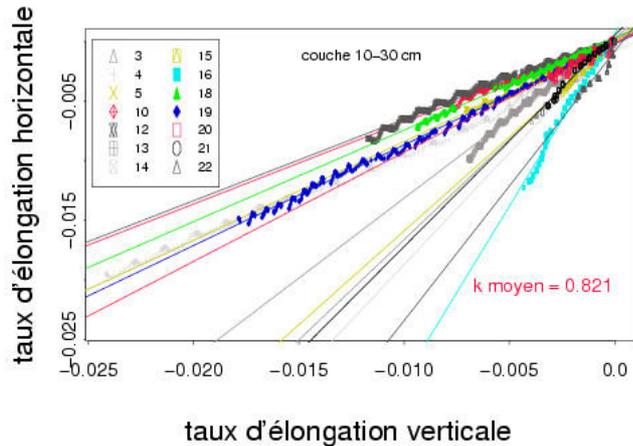
Fig. 3 : évolution de la vitesse moyenne de gonflement de la couche 30-50 cm en présence d'eau dans les macro-fissures.



Dans notre dispositif expérimental, les capteurs verticaux sont liés au sol (repère lagrangien), alors que les capteurs horizontaux sont liés à la plaque inox, donc dans un repère fixe (repère eulérien). Il est nécessaire d'exprimer l'ensemble des résultats dans le repère lagrangien lié au sol. Ainsi, le gonflement horizontal de la couche 10-30 cm s'exprime comme une combinaison linéaire pondérée des gonflements horizontaux mesurés aux côtes fixes 7cm, 27 cm et 37 cm. Nous avons raisonné sur des périodes de dessiccation, ce qui minimise l'hétérogénéité hydrique de la couche de sol étudiée. On observe un très bon ajustement au modèle linéaire (**figure 4**), dont la pente est égale au coefficient k . Le coefficient k semble dépendre à la fois de la couche de sol et de la période. Cependant, de nombreuses sources d'incertitudes affectent le calcul de k . L'incertitude d'estimation de l'épaisseur moyenne (resp. de la largeur du monolithe) de la couche 10-30 cm varie ainsi entre 0.45 et 2.86 mm (resp. entre 0.12 et 2.59 mm). Ces

incertitudes étant de l'ordre de grandeur des variations dimensionnelles, on ne peut conclure sur la non stabilité du coefficient que ce soit au cours du temps pour une couche donnée ou bien à un instant donné d'une couche à l'autre. On trouve en utilisant une moyenne pondérée par les incertitudes d'estimation statistique du coefficient k une valeur de 0.8, très comparable à la valeur 0.850 trouvée par CABIDOCHÉ et VOLTZ (1995).

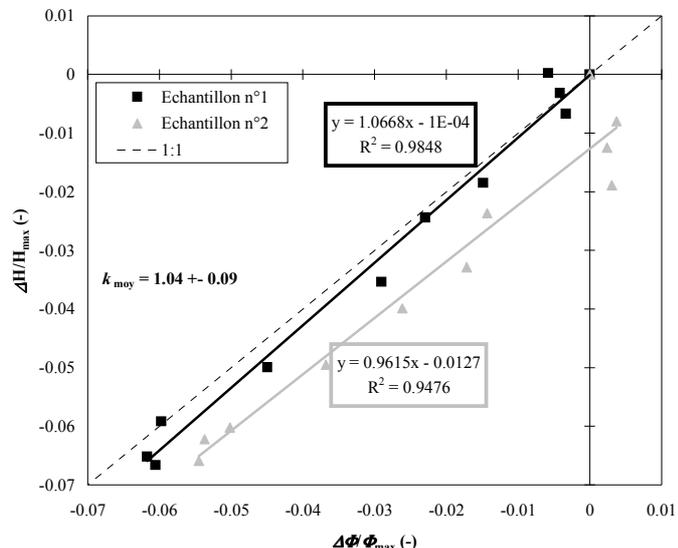
Fig. 4 : détermination de k pour différentes périodes de dessiccation, couche 10-30 cm.



4. DISCUSSIONS

La valeur de k montre que les déformations verticales sont supérieures aux déformations horizontales et confirment des données précédentes obtenues sur un site proche (CABIDOCHÉ et VOLTZ, 1995). Cependant, des mesures au laboratoire effectuées sur deux échantillons cylindriques non remaniés ($H = 5$ cm, $\phi = 5$ cm, mise à l'équilibre avec une succession croissante de succions) montrent un retrait isotrope ($p=0.05$), **figure 5**. Les mesures effectuées par MICHEL *et al.* (2000) sur un site proche ne montrent pas une influence de la pression de confinement sur l'isotropie du retrait, même si l'amplitude générale est affectée. De même l'hypothèse d'un retrait structural dimensionnel lié à une orientation préférentielle de la porosité structurale (COQUET, 1995) est exclue ici du fait de l'isotropie de cette porosité. Nous attribuons cette différence à l'existence de slickensides majeures et conformes au "bowl model" décrit par RITCHIE *et al.* (1972).

Fig. 5 : détermination au laboratoire du tropisme du retrait, prélèvement horizontal à 45-50 cm ($H = 5$ cm, $\phi = 5$ cm), site de Gardel. Mesures au pied à coulisse (précision 1/100 mm), succession d'équilibres



Ces faces de glissement induisent une discontinuité hydraulique : les couches de sol ne sont plus horizontales et notre méthode de calcul introduit un artéfact. Ceci a été vérifié sur un cas simpliste où les couches de sol traversant le monolithe ont une forme ellipsoïdale concave.

5. CONCLUSION

Nous avons présenté une expérimentation permettant la mesure directe de l'anisotropie des mouvements de sol. Nous trouvons des mouvements horizontaux légèrement plus faibles que les mouvements verticaux, ce qui est cohérent avec des mesures antérieures. Cependant les fortes incertitudes expérimentales ne permettent pas de conclure sur l'évolution du tropisme du retrait au cours du temps ou avec la profondeur. La différence entre l'anisotropie des déformations mesurées in situ et l'isotropie mesurée au laboratoire sur des petits cylindres non remaniés est attribuée à la structure en "bol" classiquement décrite dans les vertisols résultant des faces de glissement. Ceci reste cependant à confirmer.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BRONSWIJK J.J.B., 1990 – Shrinkage geometry of a heavy clay soil at various stresses, *Soil Science Society of America Journal*, 54, 1500-1502.

CABIDOCHÉ Y.M., VOLTZ M., 1995 – Non-uniform volume and water content changes in swelling clay soil : II a field study on a vertisol, *European Journal of Soil Science*, 46, 345-355.

COQUET Y., 1995 – Etude *in situ* des phénomènes de retrait-gonflement des sols. Application à deux sols tropicaux peu gonflants. *Thèse de Doctorat, Université d'Orléans*, 336 p.

FAVRE F., BOIVIN P., WOPEREIS M.C.S., 1997 – Water movement and soil swelling in a dry, cracked Vertisol, *Geoderma*, 78, 113-123.

GARNIER P., RIEU M., BOIVIN P., VAUCLIN M., BAVEYE P., 1997 – Determining the hydraulic properties of a swelling soil from a transient evaporation experiment, *Soil Science Society of America Journal*, 61, 1555-1563.

HALLAIRE V., 1988 – Aspects tridimensionnels de la déformabilité des matériaux argileux gonflants, *Les Phénomènes de transfert dans les milieux poreux déformables, Inra Ed, L'Isle/Sorgues 10/1987*, 115-126.

MICHEL J.C., BEAUMONT A., TESSIER D., 2000 – A laboratory method for measuring the isotropic character of soil swelling, *European journal of Soil Science*, 51, 689-697.

RUY S., DI PIETRO L., CABIDOUCHE Y.M., 1999 – Numerical modelling of water infiltration into the three components of porosity of a vertisol from Guadeloupe, *Journal of Hydrology*, 221, 1-19.

RITCHIE J.T., KISSEL D., BURNETT E., 1972 – Water movement in undisturbed swelling clay soil, *Soil Science Society of America Proceedings*, 36, 874-879.

YULE D.F., RITCHIE J.T., 1980 – Soil shrinkage relationships of Texas vertisols: I small cores, *Soil Science Society of America Journal*, 44, 1285-1291.

REMERCIEMENTS

L'implication, les interventions sur le terrain ainsi que le sens pratique d'Andève Mulciba ont été particulièrement appréciés. Nous remercions également J. Fleury, responsable du domaine expérimental de Gardel de l'INRA pour la parcelle expérimentale et l'infrastructure nécessaire au bon déroulement de ces expérimentations.
