

CARACTERISATION DES PROFILS STRUCTURAUX DES SEDIMENTS FLUVIO-MARINS : TRANSPOSITION DES METHODES CALIBREES DANS LE BRI DU MARAIS POITEVIN SUR LA COTE DE GUYANE FRANÇAISE.

Dudoignon P.⁽¹⁾, Caillaud J.⁽²⁾, Bernard M.⁽¹⁾,

(1) patrick.dudoignon@esip.univ-poitiers.fr, Université de Poitiers, UMR CNRS 6532 Hydrasa, E.S.I.P. 40 avenue du recteur Pineau 86022 Poitiers cedex, France

(2) Jacinthe.Caillaud@univ-littoral.fr, Université du Littoral Côte d'Opale, FRE CNRS 2816 ELICO, M.R.E.N. 32 avenue Foch 62930 Wimereux, France

Introduction

Les évolutions des profils d'hydratation des sols ou des sédiments argileux sont gouvernés par les propriétés de réarrangements des particules argileuses fréquemment représentées par les courbes de retrait (Braudeau, 1988; Tessier *et al.*, 1980). La modélisation des comportements hydromécaniques des sols ou des sédiments nécessite un couplage de l'étude des évolutions structurales des matériaux de l'état solide à l'état pseudo-liquide et l'enregistrement in situ des profils d'hydratation. Ces derniers peuvent être caractérisés par des mesures mécaniques ou géophysiques callées sur les valeurs de teneurs en eau et densité mesurées sur échantillons intacts. L'objectif de cette communication est de présenter une méthodologie calibrée sur le bri du Marais Poitevin et du Marais de Rochefort parfaitement adaptable aux côtes guyanaises du fait des similitudes minéralogiques et structurales des deux sédiments côtiers.

Abstract :

The evolutions of soil structure are governed by the clay particle arrangements during the shrinkage-swelling cycles. They are commonly represented by the shrinkage curves (Braudeau, 1988; Tessier *et al.*, 1980). The hydromecanic models of soil behaviour need investigations on the clay matrix microstructures from the liquid to solid states and in situ characterization of the structural profiles. These ones can be characterised by mechanical and geophysical profile measurements gauged on laboratory measurements on intact samples. This communication presents an investigation methodology performed on the Rochefort and "Marais Poitevin" marshes of the French Atlantic coast which can be transposed on the Guyana coast.

Matériaux et Méthodologie

Caractérisation minéralogiques et courbes de retrait : similitude des deux sédiments

La minéralogie de ces sédiments fins côtiers déposés de part et d'autre de l'Océan Atlantique a été déterminée par diffraction de rayons X et par microanalyses chimiques. Illite, kaolinite, smectite et interstratifiés illite-smectite constituent l'assemblage de phyllosilicates dans les deux environnements. Les courbes de retrait ont été déterminées par séchage d'échantillons intacts initialement à la limite de liquidité. Les mesures sont effectuées sur des échantillons dont la taille initiale est suffisamment petite avant dessiccation pour éviter les fractures de retrait (Figure 1). Les structures d'arrangements particulières sont observées en microscopie électronique à balayage après trempe dans l'azote pâteux et lyophilisation (Dudoignon *et al.*, 2007). L'anisotropie d'arrangement des particules minérales peut être mesurée et utilisée pour le calcul de tortuosité entrant dans les équations de conductivité hydraulique (Dudoignon *et al.*, 2004).

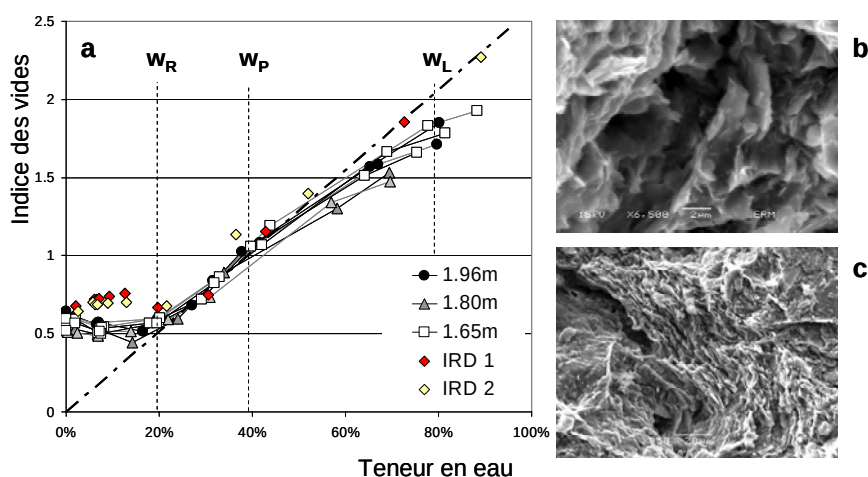


Figure 1 : a - Courbe de retrait de trois échantillons prélevés à 196, 180 et 165 cm de profondeur dans le bri du Marais de Rochefort et de deux échantillons prélevés sur la côte guyanaise (IRD 1, IRD 2), b – structuration des particules argileuses à la limite de liquidité (w_L), c – structuration à la limite de retrait (w_R). w_P = limite de plasticité.

Enregistrement de profils hydromécaniques *in situ*

A partir des mesures de teneurs en eau (w) et de densité apparente (γ_h) d'échantillons intacts, la porosité (Φ) et l'indice des vides (e) sont calculés pour les différents états d'hydratation en prenant en compte la densité réelle (γ_s) des particules minérales mesurée au pycnomètre. La correspondance courbe de retrait – évolution verticale de profils de teneur en eau permet d'établir des modèles de retrait du sédiment *in situ* (Bernard *et al.*, 2006).

Parallèlement à l'acquisition des profils de teneur en eau, des mesures de paramètres physiques et ou mécaniques permettent de caractériser l'évolution hydromécanique du sédiment lors des cycles de dessiccation / réhumectation. Parmi les outils légers le pénétromètre dynamique PANDA est particulièrement adapté à l'enregistrer des profils de résistance à la pointe dans ces formations argileuses (Bernard et al. 2007). Malgré la limite inférieure de mesure de 0.1 MPa qui est atteinte dans les milieux pseudo-liquides les relations profils de résistance à la pointe – profil de teneur en eau peuvent être établies via des équations de Perdok modifiés (Bernard, 2006 ; Perdok et al., 2002). D'autre part, la structure des matériaux argileux peut être approchée par mesure de résistivité. La résistivité du sol (ρ_s) est reliée à la porosité (ϕ), à l'indice de saturation (Sat) et à la résistivité du fluide (ρ_w) due à sa salinité, par la loi d'Archie (Archie, 1942). $\rho_s = \alpha * \rho_w \phi^{-m} Sat^{-n}$. Dans le cas de sédiments du Marais Poitevin, l'homogénéité minéralogique (CEC constante) nous a permis de caler les paramètres α , m et n . Une méthode par couplage pénétromètre dynamique – salinomètre a nous permet d'enregistrer les profils de résistivité, résistance à la pointe et de calculer les profils de teneurs en eau et indice des vides (Figure 2) (Bernard, 2006).

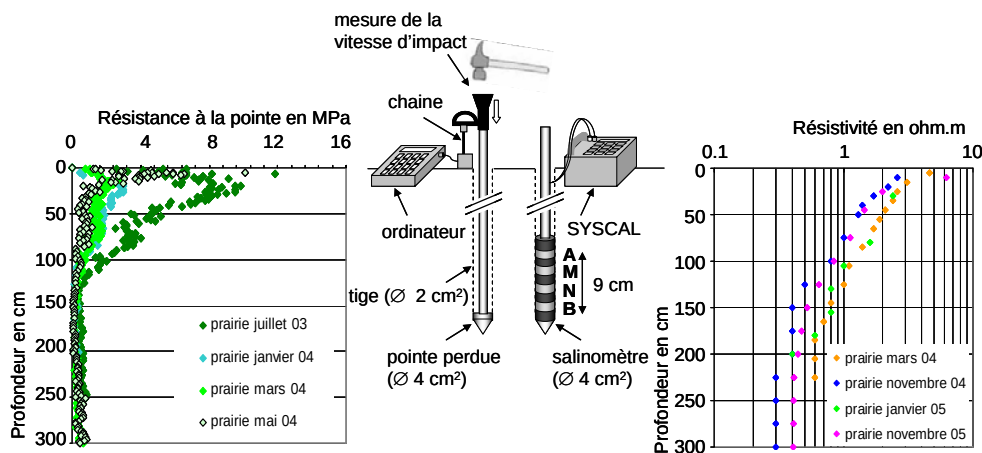


Figure 2 : Schéma du couplage pénétromètre salinomètre et profils de résistance à la pointe et de résistivité enregistrés dans une parcelle en prairie à différents mois d'investigations.

Caractérisation structurale et répartition de porosité

Les profils de répartitions entre la microporosité de la matrice argileuse et la mésoporosité associée au fractures de dessiccation sont établis par analyses d'images. Ces images sont obtenues sur des sections polies ou des lames minces confectionnées dans des échantillons de sédiment dont la structure a été conservée par induration (échange eau – acétone – résine) (Dudoignon et al., 2007; Figure 3).

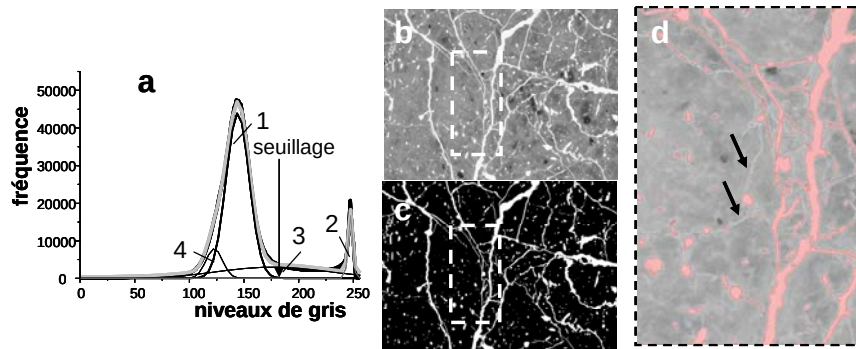


Figure 4 : a) Localisation de la borne inférieure de seuillage de la mésoporosité, b) Image en niveaux de gris, c) Image en mode binaire représentant la mésoporosité seuillée, d) Superposition de la mésoporosité sur l'image en 256 niveaux de gris, les flèches indiquent les plus larges fissures non incluses par la limite de seuillage. L'« épaisseur » maximum des pores non seuillés est voisine de 100 μm .

Les mesures par analyse d'image sont callées sur les mesures physiques effectuées sur échantillons intacts. Les mesures sur sections polies sont des mesures en deux dimensions qui peuvent être effectuées sur plans horizontaux ou verticaux de manière à estimer l'isotropie ou l'anisotropie du milieu. L'acquisition des réseaux de porosité en 3D est actuellement abordée par tomographie.

Structures et propriétés de transfert

Les conductivités hydrauliques des matrices argileuses saturées ont été mesurées en laboratoire via les essais de compressibilité à l'oedomètre. Les résultats montrent l'influence de la porosité sur les valeurs de conductivité mais surtout l'influence des limites de plasticité (w_P) et de liquidité (w_L) du matériau argileux qui varient en fonction de la salinité du fluide ; les valeurs mesurées coïncident avec les valeurs calculées (Kozeny- Caraman) entre la limite de retrait (w_R) et w_P (10^{-11} – 10^{-10} m/s). Elles augmentent dès que la structure argileuse dépasse w_P (10^{-9} – 10^{-6} m/s). En milieu fracturé non saturé les mesures ont été effectuées par infiltrométrie pour des pressions de succion de -0.05 et -0.2 kPa. Les conductivités ont été calculées par méthode multipotentiel monodiamètre et en régime transitoire, elles varient entre 10^{-8} et 10^{-5} m/s pour des tailles de pores entre 3mm et 1.5 mm de diamètre.

En conclusion : Des investigations in situ simples (couplage pénétromètre – résistivimètre) associées à l'étude structurale et les mesures des conductivités hydrauliques en laboratoire permettent de reconstruire les profils structuraux et d'y associer les profils de comportements « hydromécaniques » en intégrant structure du matériau argileux et salinité de fluides.

Références :

- Archie, G. E., 1942. *The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics*, American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, 154, 1-8.
- Bernard M., Dudoignon P., Chevallier C., Pons Y. 2006. *Shrinkage and Subsidence in a Marsh Soil: Measurements and Preliminary Model*. Soil Science Society of America Journal, 70: 1834-1842
- Bernard, M., 2006. *Etude des comportements des sols de Marais : Evolution minéralogique, structurale et hydromécanique. (Marais de Rochefort et Marais Poitevin)*, Thèse de doctorat de l'Université de Poitiers, 309 p.
- Bernard, M., Dudoignon, P., Pons, Y., Chevallier, C. & Boulay, L., 2007. *Structural characteristics of clay-dominated soils of a marsh and a paleosol in a crossed diagram*, European Journal of Soil Science, sous presse,
- Braudeau, E., 1988. *Equations généralisée des courbes de retrait d'échantillons de sols structurés*, Compte Rendus de l'Académie des Sciences Paris Série II, 307, 1933-1936.
- Dudoignon, P., Caussègue, S., Bernard, M., Hallaire, V. & Pons, Y., 2007. *Vertical porosity profile in a clay-rich marsh soil*, Catena, Sous Presse,
- Dudoignon, P., Gélard, D. & Sammartino, S., 2004. *Cam-clay and hydraulic conductivity diagram relations in consolidated and sheared clay-matrices.*, Clay Minerals, 39, 269-279.
- Perdok, U. D., Kroesbergen, B. & Hoogmoed, W. B., 2002. *Possibilities for modelling the effect of compression on mechanical and physical properties of various Dutch soil types*, Soil and Tillage Research, 65, 61-75.
- Tessier, D., Pedro, G. & Camara, L., 1980. *Sur le comportement hydrique et l'évolution de l'organisation des argiles (kaolinites et smectites) au cours de la dessiccation et de la réhumectation*, Compte Rendus de l'Académie des Sciences Paris, série D, 1169-1172.