
Influence de la variation cyclique de la température sur les paramètres pressiométriques d'un limon compacté.

BOUKELIA Ahmed^{1,2}, ROSIN-PAUMIER Sandrine¹, MASROURI Farimah¹

¹ LEMTA (CNRS, UMR 7563), Université de Lorraine, Vandœuvre-lès-Nancy, France
sandrine.rosin@univ-lorraine.fr

² ESITC de Metz, Metz, France

RÉSUMÉ. L'incorporation d'échangeurs de chaleur aux géostructures pose la question de l'impact des variations de température sur les paramètres géotechniques des sols. Dans cette étude, des essais mini-pressiométriques ont été réalisés sur des massifs de sol compactés dans un modèle réduit thermo-régulé. Un matériau limoneux compacté est soumis à trois cycles thermiques (20-50-20°C). Une diminution nette de la pression limite (P_l) et la pression de fluage (P_f) est mesurée tandis que l'évolution du module pressiométrique (E_M) est beaucoup plus faible. Dans cet interval de température, l'effet de trois cycles de chauffage peut être considéré comme réversible.

ABSTRACT. In geotechnical engineering, the proper design of thermo-active geostructures requires a better understanding of the thermo-hydro-mechanical behaviour of natural and compacted soils. In the present study, mini-pressuremeter tests were conducted in laboratory to characterise compacted soil. The objective was to examine and quantify the influence of temperature cyclic changes on pressuremeter parameters of a compacted loam. Three heating-cooling cycles (20-50 °C) were applied, the obtained results showed a decrease in limit pressure (P_l) and creep pressure (P_f) with increasing temperature for both tested soils, while the variation of the pressuremeter modulus (E_M) was less significant. Through the temperature range tested, a reversibility of the effect of a heating cycle is obtained.

MOTS-CLÉS : Energie géothermique, essais de laboratoire, pressiomètre, température, sol compacté, limon.

KEY WORDS : Geothermal energy, laboratory tests, pressuremeter tests, temperature, compacted soil, loam.

1. Introduction

En géotechnique, l'effet de variation de température sur les propriétés hydriques et mécaniques des matériaux revêt une importance particulière dans les cas de stockage de déchets nucléaires, l'enfouissement de câbles haute tension ou encore la mise en place de géostructures énergétiques [PAH02] [BRA06]. Pour cette dernière application, afin de garantir la durabilité à long terme des constructions, de nombreuses questions se posent sur l'effet de la variation de la température sur les propriétés hydromécaniques du sol. En particulier, plusieurs auteurs ont montré la contraction du domaine de déformation élastique des matériaux dans le cas d'une élévation de la température [CEK04] [MAR02] [UCH09]. Cette évolution pourrait avoir un impact sur la fonctionnalité des structures.

Dans cette étude, des essais mini-pressiométriques sont réalisés dans une cuve de grande taille préparée avec du matériau limoneux compacté. Les résultats permettront d'appréhender l'effet des variations de température sur des paramètres nécessaires pour la modélisation de la capacité portante du sol et de la stabilité des géostructures énergétiques. L'essai pressiométrique est couramment utilisé pour calculer les capacités portantes de fondations profondes [AFN00] [AST99]. Cet essai consiste à introduire dans le matériau une sonde cylindrique équipée d'une membrane flexible susceptible de se dilater radialement. La déformation de la sonde est relevée au fur et à mesure de l'application de paliers de pression croissants. Au cours de la première partie de l'essai, le sol a une réaction linéaire pseudo-élastique, la pente permet de calculer le module pressiométrique du sol E_M . Sous des pressions plus importantes, la déformation plastique du matériau est observée. La pression de fluage, P_f est définie comme la pression seuil entre la phase pseudo-élastique et la phase plastique. Il est donc possible de quantifier une potentielle contraction ou dilatation du domaine élastique en réalisant des essais pressiométriques à différentes températures. Dans cette étude, une méthode expérimentale est présentée afin de réaliser en laboratoire des essais mini-pressiométriques dans des sols compactés homogènes soumis à des variations de température [ESL14].

Tableau 1. Paramètres pressiométriques obtenus sur le limon compacté 3 cycles (20-50-20 °C).

Test	T (°C)	Cycle	w (%)	ρ_d (Mg.m ⁻³)	P_f (kPa)	P_l (kPa)	E_M (MPa)
L20a	20	0	16,2	1,71	278	657	5,39
L20b	20	0	16,2	1,72	280	591	5,18
L50a	50	1	15,9	1,74	220	517	4,90
L50b	50	1	16,0	n.c.	218	480	5,46
L20c	20	3	16,3	1,73	270	648	5,63
L20d	20	3	16,2	1,72	250	535	5,85

4. CONCLUSION

L'objectif de ces travaux était de quantifier l'effet des variations de température monotone et cyclique sur les paramètres pressiométriques d'un limon compacté. Pour cela, un dispositif expérimental à l'échelle métrique a été spécifiquement développé. La diffusion de la chaleur dans le massif compacté a été suivie au cours de l'application des cycles thermiques.

Les résultats montrent une diminution de la pression limite P_l , et de la pression du fluage P_f lors d'une augmentation de température tandis que le module pressiométrique E_M évolue plus faiblement. Lors du retour à la température initiale (20°C), une quasi-réversibilité des évolutions est observée.

5. REFERENCES

- [AFN93] AFNOR. NF P94-051 - *Sols : reconnaissance et essais ; Détermination des limites d'Atterberg*. Ass. Fr. de Normalisation, Paris, France, p. 15, 1993.
- [AFN99a] AFNOR NF EN 933-9 - *Tests for geometrical properties of aggregates - Part 9 : Assessment of fines - Methylene blue test*. Ass. Fr. de Normalisation, Paris, France, p. 12, 1999a.
- [AFN99b] AFNOR NF P94-093 - *Sols : Reconnaissance et essais Détermination des références de compactage d'un matériau. Essai Proctor Normal-Essai Proctor Modifié*. Ass. Fr. de Normalisation, Paris, France, p. 18, 1999b.
- [AFN00] AFNOR NF P94-110-1 - *Sols : reconnaissance et essais Essai pressiométrique Ménard*. Ass. Fr. de Norm., Paris, France, p. 44, 2000.
- [BRA06] Brandl H. « Energy foundations and other thermo-active ground structures. » *Géotechnique*, vol. 56, 2006, 81–122.
- [CEK04] Cekerevac C., Laloui L. « Experimental study of thermal effects on the mechanical behaviour of a clay. » *Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech*, vol. 28, 2004, 209–228.
- [ESL14] Eslami H. *Comportement Thermo-hydrromécanique des sols au voisinage des géo-structures énergétiques*. PhD Thesis, Université de lorraine, France, p. 214, 2014.
- [GRA01] Graham J., Tanaka N., Crilly T., Alfaro M. « Modified Cam-Clay modelling of temperature effects in clays. » *Can. Geotech. J.*, vol. 38, 2001, 608–621.
- [GTR00] GTR, 2000. Réalisation des remblais et des couches de forme. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, p. 102.
- [HUE90] Hueckel T., Baldi G., « Thermoplasticity of saturated clays: experimental constitutive study. » *J. Geotech. Eng.*, vol. 116, 1990. 1778–1796.
- [MAR04] Marques M. « Viscous behaviour of St-Roch-de-l'Achigan clay, » *Quebec. Can. Geotech. J.*, vol. 38, 25–38. 2004.
- [PAH02] Pahud D. *Geothermal energy and heat storage*. SUPSI-DCT-LEEE Lab. di Energia, Ecologia, Economia Ed., 2002, 1-133.
- [AST99] Standard ASTM, D4719-00 *Standard test method for Prebored Pressuremeter Testing in Soils*. ASTM Int., West Conshohocken, p. 9, 1999.
- [AST06] Standard ASTM, D2487 *Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System)*. ASTM Int., West Conshohocken, 2006.
- [TAN97] Tanaka N., Graham J., Crilly T.. « Stress-strain behaviour of reconstituted illitic clay at different temperatures. » *Eng. Geol.*, vol 47, 1997, p.339–350.
- [UCH09] Uchaipichat A., Khalili N. « Experimental investigation of thermo-hydro-mechanical behaviour of an unsaturated silt. » *Géotechnique*, vol. 59, 2009, p. 339–353.