

Analyse à l'échelle microscopique des phénomènes d'humectation et de dessiccation des argiles

Tatiana MAISON

Directeur de thèse : Jean-Marie FLEUREAU, Laboratoire MSSMAT, Ecole Centrale Paris & CNRS - CHATENAY-MALABRY

Suivi INERIS : Farid LAOUAFA, Direction des Risques du Sol et du Sous sol - Risques Naturels, Ouvrages et Stockages

La sécheresse, accentuée par le réchauffement climatique actuel et à venir, induit des phénomènes de retrait et de gonflement dans de nombreux sols argileux. Ces phénomènes se traduisent principalement par deux conséquences majeures : la modification des propriétés physiques du sol qui influe directement sur l'agriculture et les déformations induisant souvent des tassements différentiels aux niveaux des structures et des ouvrages. Jusqu'à aujourd'hui, ces phénomènes ont été étudiés principalement à l'échelle mésoscopique (échelle « classique » de laboratoire) et macroscopique (échelle de l'ouvrage). Des recherches ont été menées à l'échelle microscopique mais dans des contextes particuliers (argiles destinées au stockage des déchets radioactifs). Le travail de recherche présenté dans ce mémoire de thèse constitue par conséquent une des premières études sur des argiles naturelles, prélevées in situ sur des sites affectés par le retrait-gonflement : la montmorillonite grecque et l'argile verte de Romainville. Ces deux argiles ont été soumises à des cycles d'humidification-séchage dans le Microscope Electronique à Balayage Environnemental (MEBE) afin de quantifier le retrait-gonflement et d'en étudier la cinétique. Un protocole expérimental a été établi, basé sur l'application de l'humidification et du séchage par paliers avec des temps d'équilibre et une fréquence d'application réguliers. Ces essais ont été menés dans le but d'analyser : l'influence de la composition minéralogique, l'étude de l'effet d'échelle et l'influence du type de pilotage (pression ou température). En parallèle à ces essais, des expérimentations ont été menées à l'échelle mésoscopique afin d'établir d'éventuels liens entre les deux échelles. Ils ont consisté en l'étude de l'évolution de la microstructure, de la microporosité et de l'établissement des courbes de rétention. Les observations effectuées à ces deux échelles ont mené à la mise au point de deux méthodes, volontairement simplifiées pour des facilités de mise en œuvre et d'une investigation rapide (études préliminaires, bureaux d'étude). Ces deux méthodes sont, l'une analytique, l'autre numérique, permettant la transition vers l'échelle macroscopique et pour pouvoir estimer le retrait et le gonflement possibles sur un site donné. L'analyse des résultats des essais effectués à l'échelle microscopique (essais MEBE) conduit aux remarques suivantes : la majeure partie des déformations se produit aux fortes humidités relatives ; les déformations mesurées à l'échelle microscopique sont similaires à celles mesurées à l'échelle mésoscopique ; la cinétique de gonflement et de retrait est marquée par plusieurs phases distinctes selon l'argile considérée ; la composition minéralogique, la taille des agrégats et le type de pilotage présentent une influence au niveau de l'amplitude du retrait-gonflement et de la cinétique. L'analyse des résultats des essais effectués à l'échelle mésoscopique (essais de laboratoire) conduit aux remarques suivantes : la limite de retrait (W_r) correspond à une teneur en eau de 13 % et un indice des vides de 0,52 ; aux fortes et moyennes succions, le sol présente une microstructure compacte avec une macroporosité augmentant avec la succion ; aux faibles succions, la microstructure compacte évolue de contours nets et saillants des agrégats à des contours plus doux et réguliers ; des microorganismes ont été observés, engendrant une porosité à la surface très importante, pouvant entraîner un vieillissement du sol et la création de chemins préférentiels pour la pénétration de l'eau ; avec la diminution de la succion, une diminution de la surface spécifique externe et du volume microporeux est observée ; l'humidification et le séchage des échantillons ne semblent pas induire pas de conséquences irréversibles sur la microstructure.

Abstract

The drought, emphasised by the current global warming and to come, leads phenomena of shrinkage and swelling of many clayey soils. These phenomena are mainly translated by two major consequences: the modification of the physical properties of the soil which influences directly the agriculture and the deformations leading often differential compaction at the levels of the structures and the buildings. Until today, these phenomena were mainly studied at the mesoscopic level (laboratory classical level) and macroscopic level (buildings scale). Research was led to the microscopic level but in particular contexts (clays intended for the confinement of the radioactive waste). The research work presented in this thesis manuscript constitutes consequently one of the first studies on natural clays, taken in situ from sites affected by the swelling-shrinkage: the Greek montmorillonite and the clay of Romainville. These two clays were subjected to wetting-drying cycles in the Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM) in order to quantify the swelling-shrinkage and to study kinetics. An experimental protocol was established, based on the application of the wetting and the drying by stages with regular time of stabilisation and frequency of application. These tests were led in order to analyse: the influence of the mineralogical composition, the study of the effect of scale and the influence of the type of piloting (pressure or temperature). In parallel to these tests, some experiments were led to the mesoscopic level to establish possible links between both levels. They consisted of the study of the evolution of the microstructure, the microporosity and the establishment of the retention curves. The observations made in these two levels led to the development of two methods, voluntarily simplified for ease of implementation and of a fast investigation (preliminary studies, engineering consulting firms). These two methods are, the one analytics, the other numerical, allowing the transition towards the macroscopic level and to be able to estimate the possible shrinkage and the swelling on a given site. The analysis of the results of the tests made in the microscopic level (ESEM tests) leads to the following remarks: the major part of the strains occurs in the high relative humidities; the strains measured in the microscopic level are similar to those measured in the mesoscopic level; the kinetics of swelling and shrinkage are marked by several different phases according to the considered clay; the mineralogical composition, the size of the aggregates and the type of piloting present an influence at the level of the amplitude of the shrinkage - swelling and the kinetics. The analysis of the results of the tests made in the mesoscopic level (laboratory tests) leads to the following remarks: the shrinkage limit (W_r) corresponds to a 13 % moisture content and a void index of 0,52; in the high and medium suctions, the soil presents a compact microstructure with a macroporosity increasing with the suction; in the low suctions, the compact microstructure evolves of sharp outlines of the aggregates in rounder outlines; microorganisms were observed, engendering a very important porosity on the surface, being able to pull an ageing of the ground and the creation of preferential paths for the penetration of the water; with the decrease of the suction, the decrease of the external specific surface and of the microporous volume is observed; the wetting and the drying of samples do not seem to lead no irreversible consequences on the microstructure.