

LABO - Axe ou Equipe INSTITUT PASCAL AXE M3G, équipes Mat Inn/S2O

Directeur de thèse : Évelyne TOUSSAINT, PU, evelyne.toussaint@uca.fr

Co-encadrant : Mathilde MORVAN, McF, Mathilde.morvan@uca.fr

Titre du sujet de thèse Étude du retrait et du gonflement des argiles : approche couplée entre modélisation et méthode de mesure sans contact pour le développement d'une méthodologie de caractérisation des argiles gonflantes adaptée aux maisons individuelles pour la prévention des risques climatiques

Résumé du sujet de thèse :

Le problème du retrait-gonflement des sols constitue un enjeu majeur en géotechnique. Ce phénomène est causé par la présence d'argiles gonflantes dans le sol, qui ont la capacité de retenir l'eau et de se dilater en conséquence. En France, ce problème est présent, principalement dans les zones situées dans des régions à forte densité de population, régions pour lesquelles le bâti présent est déjà dense et le besoin de nouvelles constructions est grand. Les conséquences du retrait-gonflement des sols sont multiples et peuvent être graves. Les bâtiments et les infrastructures construits sur ces sols sont susceptibles de subir des dommages structurels en raison de l'expansion et de la contraction répétées du sol. Ces mouvements étant plus importants pour des structures de petite taille comme les maisons individuelles. La réglementation en France a largement évolué depuis une vingtaine d'années et oblige tout vendeur de terrain situé dans une zone de risque moyen ou élevé en matière de gonflement à effectuer des tests complémentaires.

La connaissance des phénomènes de gonflement/retrait est encore peu développée puisque les tests spécifiques visant à évaluer précisément les forces en jeu pendant le gonflement et le retrait et à prévoir les variations de volume générées sont longs et coûteux que ce soit la norme française ou des normes étrangères comme l'ASTM D 4546-90. Ce coût est difficilement soutenable par un propriétaire de maison individuelle. En France, la capacité de gonflement est très souvent évaluée grâce à des corrélations même s'il n'y a pas de consensus sur le test le plus approprié pour caractériser ce phénomène. En outre, les différentes études menées ces dernières années soulignent qu'une généralisation des propriétés est impossible en raison des caractéristiques très différentes au sein des argiles gonflantes et des autres sols étudiés ([NOW 07], [CHR10]) dans le cadre du projet ARGIC ([VIN06], [KAZ 16]). L'évaluation du risque de variations volumiques des sols est donc actuellement difficile et peu adaptée aux laboratoires classiques. En réponse à l'évolution normative, il est important de développer des moyens de caractérisation fiable des sols gonflants adapté aux petits budgets des propriétaires de maisons individuelles.

Le problème du retrait-gonflement des sols est lié à certains types d'argiles qui réagissent avec l'eau et présentent une variation de volume non négligeable. En effet, elles gonflent lorsqu'elles sont mouillées et se rétractent lorsqu'elles sèchent. Ce phénomène physico-chimique est lié à une variable bien connue dans le domaine des sols non saturés, la succion. Cette succion, présente dans les sols non saturés, est liée aux tensions de surface à l'interface eau-air. Le projet Sécheresse 2 dirigé par le Cerema et l'IFFSTAR a montré que les 3 premiers mètres sous la surface étaient principalement concernés [MAT15]. Cette faible profondeur serait donc assez accessible aux propriétaires de maisons individuelles sans intervention d'engins coûteux, il faudrait alors mettre au point un essai simple et réalisable par les propriétaires sur ces prélèvements.

De manière à développer et valider ce type de tests, d'une part, le laboratoire dispose d'équipements adaptés à l'étude des sols non saturés qui seront utilisés pour caractériser les sols gonflants de manière complète. D'autre part, grâce aux caméras de stéréovision et grâce à l'analyse d'images, il sera possible de vérifier la répartition des déformations en fonction de la teneur en eau ([TEG18], [CHE24]) et de la succion dans le sol soumis au retrait-gonflement. Les variations seront confrontées aux résultats de modèles très complexes développés pour les sols gonflants comme le BBM-ex ainsi qu'aux modèles plus classiques des sols non saturés mais utilisant la théorie de la contrainte effective (MAT15). Les résultats obtenus grâce aux essais de caractérisation des sols, de l'analyse d'images et de l'étude théorique de modèles constitutifs pourra donner lieu à la mise au point d'une méthodologie de caractérisation du retrait- gonflement des sols fiable et pouvant être appliquée même dans le cas de constructions à petit budget.

De manière à prévenir ce risque de retrait gonflement, des sols renforcés par des matériaux biosourcés et par des méthodes plus classiques pourront ensuite être étudiés avec la méthodologie développée. En effet, les matériaux biosourcés, outre leurs performances environnementales importantes [BAR24], ont la particularité de fortement réagir avec les variations d'humidité de l'environnement ([KAB13], [BEK22]). Ils peuvent donc

être une solution au problème de gonflement/retrait des sols en cas de fortes sécheresse ou d'inondation des sols.

Impacts sociétaux et environnementaux

Le phénomène de retrait-gonflement des sols représente un enjeu sociétal et social majeur en raison de son impact économique, environnemental et humain croissant.

1. Un enjeu économique et social pour les propriétaires et la collectivité

Les maisons individuelles sont particulièrement vulnérables à ces variations de sol, entraînant des fissures et des dommages structurels qui nécessitent des réparations lourdes et coûteuses. Le coût de ces sinistres est non seulement un fardeau pour les propriétaires, mais également pour la collectivité. La Caisse Centrale de Réassurance (CCR) a ainsi dépensé 12,3 milliards d'euros entre 1989 et 2018 pour indemniser les dégâts liés à ce phénomène [GEO]. Avec le changement climatique, la fréquence et la gravité de ces dommages risquent d'augmenter de 44 % à 162 % d'ici 2050, rendant d'autant plus crucial le développement de solutions préventives accessibles financièrement.

2. Un impact direct sur la qualité de vie des habitants

Les fissures évolutives dans les habitations entraînent un inconfort quotidien, une insécurité psychologique et des coûts imprévus pour les propriétaires. La nécessité de réparations structurelles, parfois jusqu'à la démolition de l'habitat, peut bouleverser la vie des familles et créer des tensions sociales dans les zones les plus touchées.

3. Un enjeu environnemental et climatique

Le projet de recherche propose une alternative durable en intégrant l'usage de matériaux biosourcés pour stabiliser les sols. Ces matériaux, en régulant mieux l'humidité du sol, permettraient de limiter les effets du retrait-gonflement tout en réduisant l'empreinte environnementale des solutions actuelles. Cette approche s'inscrit dans une perspective de construction plus résiliente face aux dérèglements climatiques.

4. Une nécessité d'informer et de sensibiliser

Un enjeu fondamental du projet repose sur la sensibilisation du grand public et des acteurs de la construction aux risques climatiques liés aux sols. La mise au point de tests de diagnostic simples, accessibles aux propriétaires, permettrait une prévention efficace et une meilleure anticipation des risques. De plus, l'organisation de journées de démonstration et d'ateliers auprès des professionnels et des étudiants en génie civil favoriserait une prise de conscience collective et des pratiques constructives adaptées.

Conclusion

Face à l'augmentation des sinistres liés au retrait-gonflement des sols, il est essentiel de développer des méthodes de diagnostic et de prévention adaptées aux moyens des particuliers. Ce projet représente une avancée majeure en conciliant accessibilité économique, solutions écologiques et sensibilisation collective, permettant ainsi de mieux protéger les habitations et d'améliorer la résilience des territoires face aux changements climatiques.

Motivation de la demande de bourse de thèse

Ce sujet en collaboration entre deux thèmes de M3G (Mat Inn et S20), permet de renforcer les échanges entre les deux thèmes de l'axe M3G de l'Institut Pascal. Il souligne aussi l'implication de plusieurs champs disciplinaires au sein de l'IP autour de la géotechnique, des matériaux biosourcés et de l'imagerie sans contact.

En couplant des approches expérimentales innovantes à des choix de matériaux et à la mise en place de modèles constitutifs, le projet vise à apporter une meilleure compréhension du phénomène de retrait/gonflement et ainsi apporter des solutions aux dommages induits par des épisodes de sécheresse élevée ou d'inondation des sols.

Bibliographie

- [BAR24] BARDOUH R., TOUSSAINT É., AMZIANE S., MARCEAU S. Mechanical behavior of bio-based concrete under various loadings and factors affecting its mechanical properties at the composite scale: A state-of-the-art review, Cleaner Engineering and Technology, Vol. 23, 2024, 100819
- [BEK22] BEKKOUCHE, S. R., BENZERARA, M., ZADA, U., MUHAMMAD, G., & ALI, Z. (2022). Use of Eco-Friendly Materials in the Stabilization of Expansive Soils. Buildings, 12(10), 1770.
- [CHE24] CHEN A, ZHANG X, SHI X, ZHAO S, CHEN J (2024) Study on the dry shrinkage characteristics and size effect of swell-shrink characteristic soil. PLOS ONE 19(8): e0307679.
- [CHR10] CHRETIEN M., Compréhension des mécanismes de retrait-gonflement des sols argileux, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 2010 <https://theses.fr/2010BOR14033>
- [GEO] GEORISQUE <https://www.georisques.gouv.fr/>
- [KAB13] KABASY MOHAMED A. E. M., Improvement of swelling clay properties using hay fibers, Construction and Building Materials, Volume 38, 2013, Pages 242-247,

- [KAZ 16] KAZMIERCZAK J-B, MAISON T., LAOUAFA F., DELALAIN P. and FLEUREAU J-M., A new device to analyse the shrinkage and swelling of clayey soils, Rev. Fr. Geotech. Numéro 147, 2016
- [MAT15] MATHON, D, GODFROY, A , C . COURTEMANCHE - impact de la sécheresse sur les routes françaises – suivi d'un chantier de réparation, Symposium International SEC 2015, MONITORING
- [MOR11] MORVAN M., WONG H. and BRANQUE D. Incorporating porosity-dependent hysteretic water retention behavior into a new constitutive model of unsaturated soils, Canadian Geotechnical Journal, 48:(12) 1855-1869, 2011
- [NOW 07] NOWAMOOZ H., Retrait/gonflement des sols argileux compactés et naturels, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine – INPL, 2007. <https://theses.hal.science/tel-01752833v1>
- [TEG18] TEGUEDI M. C., TOUSSAINT É., BLAYSAT B., MOREIRA S et al., Towards the local expansion and contraction measurement of asphalt exposed to freeze-thaw cycles, Construction and Building Materials, 154, 438-450, 2018
- [VIN06] VINCENT M., BOUCHUT J., FLEUREAU J.-M., MASROURI F., et al., Étude des mécanismes de déclenchement du phénomène de retrait-gonflement des sols argileux et de ses interactions avec le bâti. Rapport final BRM/RP-54862-FR, 378 p., 308 ill., 2006.