

Sujet de stage de M2 / Travail de fin d'études

Analyse des dynamiques de remontées capillaires dans les parois en pisé

Lieu : LTDS, ENTPE, Vaulx-en-Velin, France

Durée : 6 mois à partir de février 2025

Encadrement/contact :

Noha Al Haffar (Ingénieure recherche et expertise, CSTB), Noha.AL-HAFFAR@cstb.fr

Etienne Le Mire (Post-doctorant, ENTPE), Etienne.Lemire@entpe.fr

Antonin Fabbri (Directeur de recherche, ENTPE), antonin.fabbri@entpe.fr

Rudy Bui (Maître de Conférence, CETHIL), rudy.bui@univ-lyon1.fr

Contexte :

Malgré leur atout écologique indéniable (cf. par exemple Abanda et al., 2014 ; Christoforou et al., 2016 ; Morel et al., 2001 ; Shukla et al., 2009), l'utilisation de la terre crue dans la construction rencontre plusieurs obstacles, dont la forte dégradation de ses propriétés mécaniques en présence d'eau. À titre d'exemple, (Bui et al., 2014) montre qu'une augmentation de la teneur en eau de 2 % à 12 % divise par au moins 4 la résistance à la compression et la rigidité de sols de compositions variées compactés selon la procédure de Proctor (énergie de compactage égale à 0,6 kJ/dm³). Des résultats similaires sont également rapportés dans les travaux de (Jaquin et al., 2009), (Fabbri & Morel, 2016) ou (Gerard et al., 2015). Ainsi, toute augmentation anormale de la teneur en eau entraîne une réduction significative des propriétés mécaniques, rendant le mur trop fragile pour garantir sa stabilité. Ce phénomène, bien connu en mécanique des sols, est pris en compte dans la plupart des lois élasto-plastiques non saturées (Alonso et al., 1990 ; Lai et al., 2015, etc.). Comme l'expliquent (Scarato & Jeannet, 2015), dans leur analyse de plus de centaines de pathologies dans des constructions en terre battue, l'une des causes principales de l'effondrement des murs en terre est une augmentation anormale de la teneur en eau à l'interface entre le mur en terre et le sous-sol. Cette situation peut être induite par plusieurs facteurs, tels que l'élévation du remblai, l'installation de revêtements imperméables ou de sols, ou encore la présence de pentes de retour près du bâtiment, notamment les routes et trottoirs composés de matériaux imperméables comme le béton bitumineux, favorisant ainsi la remontée capillaire à travers le sous-sol vers le mur en terre. La bonne prédiction, ou *a minima* la bonne identification, de ces remontées d'eau dans les murs en terre apparaît donc primordial en vue d'anticiper et prévenir d'éventuels sinistres sur le patrimoine bâti en terre.

Bien que le principe physique de la remontée capillaire soit relativement simple et bien documenté, les phénomènes qui se produisent dans les murs sont le résultat d'interactions complexes entre l'eau, la microstructure potentiellement hétérogène du mur, sa composition minéralogique, etc. Ces interactions deviennent encore plus complexes lorsque les murs sont enduits de matériaux aux propriétés physico-chimiques très différentes de celles de la terre crue.

Objectifs :

Dans ce contexte, le stage a pour objectif d'étudier la dynamique de la remontée capillaire dans des murs en pisé, qu'ils soient nus ou recouverts de différents types d'enduits (terre, chaux, ciment). L'enjeu principal est d'analyser l'impact de ces revêtements sur la dynamique de la remontée capillaire.

Outre la mise en place et la réalisation des essais de remontée capillaire sur 9 blocs de pisé déjà construits (cf. figure 1), le travail du stage consistera à :

- Caractériser les propriétés hygroscopiques des matériaux constituant les murs (terre compactée et soubassement en béton poreux).
- Prendre en main et calibrer les sondes et dispositifs de mesure permettant de suivre en temps réel la remontée capillaire dans les murs, tels que des sondes TDR et HR/T, des capteurs piézo-électriques et une caméra thermique.



Figure 1 : Muret d'essai de remontée capillaire

Les résultats obtenus pourront être analysés à l'aide d'un code numérique développé en Python. Bien que le stagiaire ne soit pas chargé-e de développer ce code, il-elle devra en comprendre la structure afin de pouvoir y apporter des modifications nécessaires à la modélisation des résultats expérimentaux.

Profil recherché :

Etudiant.e en Master 2 ou équivalent dans le domaine des sciences des matériaux, géomécanique, génie civil ou équivalent.

Le/la candidat.e est censé.e avoir des connaissances solides en mécanique des milieux continus et en mécanique des fluides. Des connaissances dans le domaine des bâtiments anciens et patrimoniaux sont souhaitables.

Bibliographie :

- Abanda, H., Tah, J.H.M., Elambo Nkeng, G., 2014. Earth-block versus sandcrete-block houses: Embodied energy and CO₂ assessment. *Embodied energy and CO₂ assessment. Eco-Effic Mason Bricks Blocks Prop Durab* 481–514. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-305-8.00022-X>
- Alonso, E., Gens, A., and Josa, A. (1990). A constitutive model for partially saturated soils. *Géotechnique*, 40:405-30.
- Bui Q.B., Morel J.C., Venkatarama Reddy B.V., Ghayad W. (2009) Durability of Rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering, *Building and Environment* 44, 912-919
- Christoforou, E., Kylili, A., Fokaides, P.A., Ioannou, I., 2016. Cradle to site Life Cycle Assessment (LCA) of adobe bricks. *J. Clean. Prod.* 112, 443–452. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.016>
- Fabbri, A., Morel, J.-C. (2016) Chapter 10: Earthen Materials and Constructions in Nonconventional and Vernacular Construction Materials, Kent A. Harries, B. Sharma ed., Woodhead Publishing
- Gerard, P., Mahdad, M., McCormack, A.R., François, B. (2015) A unified failure criterion for unstabilized rammed earth materials upon varying relative humidity conditions, *Construction and Building Materials* 95:437-447.
- Jaquin, P.A., Augarde C.E., Gallipoli, D., Toll, D.G. (2009) The strength of unstabilised rammed earth materials, *Géotechnique* 59:487-490.
- Lai, B., Wong, H., Fabbri, A., and Branque, D. (2016). A new constitutive model of unsaturated soils using bounding surface plasticity and a non-associative flow rule. *Innov. Infrastruct. Solut.*,1:3.
- Morel, J.C., Mesbah, A., Oggero, M., Walker, P., 2001. Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction. *Build. Environ.* 36, 1119–1126. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00054-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00054-8)
- Scarato P., Jeannet, J. (2015) *Cahier d'expert bâti en pisé: Connaissance, analyse, traitement des pathologies du bâti en pisé en Rhône-Alpes et Auvergne*. ISBN 2746678756, 978274667875.
- Shukla, A., Tiwari, G.N., Sodha, M.S., 2009. Embodied energy analysis of adobe house. *Renew. Energy* 34, 755–761. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.002>