

DEMANDE D'ALLOCATION DE RECHERCHE DE L'ED SISEO

Année universitaire 2017-2018

SUJET DE THÈSE

1. LABORATOIRE <i>Nom ou sigle : LOCIE</i> <i>Statut : UMR CNRS-USMB 5271</i>	2. DIRECTION DE THÈSE <i>Directeur de thèse (HDR) : Olivier Plé</i> <i>Codirecteur éventuel : Noémie Prime</i>
Domaine de compétences de l'ED SISEO : - Environnement <input type="checkbox"/> - Organisations <input type="checkbox"/> - Systèmes <input type="checkbox"/>	Collaborations éventuelles :
3. SUJET DE THÈSE Titre : <i>Influence of hydric sollicitation on earth structure damage</i> <i>Influence des sollicitations hydriques sur l'endommagement du bâti en terre</i>	

4. RESUME

(Français et Anglais)

Notre société se confronte aujourd'hui à la nécessité de limiter notre consommation d'énergie et de matières premières, notamment dans le secteur du bâtiment hautement énergivore et producteur de déchets. La construction traditionnelle en terre crue répond à cette préoccupation, mais son développement reste cependant limité du fait de l'incertitude sur la stabilité du bâti lors de variations de teneur en eau.

Dans ce contexte, ce projet de thèse compte s'attaquer au problème crucial de l'effet des conditions hydriques sur le comportement et l'endommagement mécanique du bâti en terre. Ces recherches seront développées à l'interface entre l'approche énergétique et l'approche mécanique souvent adoptées pour ce matériau. L'objectif de la thèse sera de mettre en évidence, comprendre et reproduire l'influence de la phase hydrique sur le comportement mécanique aux échelles matériau et élément de structure. L'originalité du projet réside en 3 points :

- la prise en compte dans un même problème des effets hydriques et mécaniques au sein de ce matériau de construction,
- la recherche de l'influence hydrique à l'échelle matériau et structurelle,
- l'adoption des concepts de la mécanique des sols non saturés pour la compréhension des phénomènes physiques dans ce milieu poreux occupé par un fluide diphasique. Cette approche sera suivie au niveau expérimental et numérique par le choix des essais et des modèles appropriés.

Our society faces the necessity to limit our energy and raw materials consumption, notably concerning the buildings which are responsible for a large part of energy need and waste production. Traditional construction with raw earth respond to this concern, but it cannot develop since the earth building stability is uncertain with moisture content variations.

In this context, this PhD project addresses a critical issue which is hydric conditions influence on the mechanical behavior and damage of raw earth building. This research will be developed at the interface between energy approach and mechanical approach often adopted for this material. The PhD work will aim to characterize, understand and reproduce the influence of the water phase on the mechanical behavior at both material and structural scales. The originality of the project lies in 3 points:

- *Dealing with both hydric and mechanic problematics for this construction material,*
- *Looking for the hydric influence at both material and structural scale,*
- *Adopting concepts from unsaturated soils mechanics for analyzing physical phenomena in this porous medium occupied by a diphasic fluid. This approach will be followed at the experimental and numerical level, by choosing appropriate tests and behavior models.*

5. PROJET DE RECHERCHE DETAILLE

(2 pages environ)

1/ Etat de l'art et problématique

La terre est traditionnellement employée pour différents procédés constructifs : pisé, adobe, briques de terre compressées, etc. Depuis les années 80, les études scientifiques ont commencé à s'intéresser au comportement mécanique de ce matériau, d'abord par la caractérisation de sa résistance à la compression selon différents facteurs (composition de la terre, protocole d'essai), puis par l'analyse de son comportement de manière plus fine (module de Young, résistance à la traction, à l'arrachement) [Lilley1995 ; Bui2009 ; Hall2004 ; Bui2014]. Plus récemment, les travaux ont commencé à porter sur l'effet de l'eau sur le comportement mécanique, tout d'abord en mettant en évidence l'effet de la succion inter-granulaire sur la résistance, la rigidité et la ductilité [Jaquin2008 ; 2009], ce qui a permis de s'intéresser plus spécifiquement à l'effet des conditions climatiques sur la résistance des structures en terre [Beckett2012 ; Bui2014a ; Champiré2016].

Par ailleurs, la terre de construction s'apparentant à un sol plus ou moins compacté, toutes les théories et modèles développés en géomécanique s'avèrent appropriées, perspective qui a été récemment été entrevue [Gallipoli 2014]. Mais les concepts de mécanique des sols, au-delà de pouvoir définir un critère de rupture plus précis pour le matériau grâce à un angle de frottement et une cohésion, permettent de comprendre les effets hydriques sur le comportement de ce matériau poreux non saturé, en considérant la succion comme une action à part entière sur le squelette granulaire.

Dans ce contexte, le présent projet de thèse vise à répondre à 3 problématiques originales et novatrices vis-à-vis des travaux existants :

- Quel est l'effet quantitatif de la succion sur le comportement mécanique (module de young E , cohésion C , angle de frottement ϕ), à l'échelle du matériau et d'un élément de structure ?
- Quel est l'effet quantitatif d'un cycle de succion sur l'endommagement de ces caractéristiques mécaniques ?
- Peut-on reproduire efficacement l'effet de l'évolution de la succion sur le comportement mécanique à l'échelle d'un élément de structure ? Notamment les modèles de mécanique des sols peuvent-ils être simplifiés pour permettre une modélisation à l'échelle du bâti entier ?

Soulignons, que l'étude de l'influence de l'eau se justifie non seulement pour évaluer la possibilité de construire en terre crue sous toutes les latitudes, mais aussi la vulnérabilité de ce type de bâti lors d'évènements météorologiques intenses (fortes pluies, inondations, etc.) gagnant en fréquence et en intensité avec l'évolution actuelle du climat. De plus, les perturbations hygro-thermiques sont susceptibles d'apparaître du fait de la pose d'isolant en paroi, devenant fortement préconisée.

2/Méthodologie et organisation du travail

- 1. Analyse expérimentale à l'échelle matériau

Dans cette première phase nous rechercherons à analyser finement les effets de l'eau liquide à l'échelle matériau et pour un problème hydro-mécanique uniforme.

Des échantillons de taille pluri-centimétrique seront mis en place par compression biaxiale. Cette technique, si elle ne correspond pas à un véritable procédé de mise en place de la terre dans la construction, présente cependant l'avantage d'une mise en œuvre parfaitement contrôlée et reproductible (contrôle de la pression appliquée) et d'autre part d'assurer une plus grande homogénéité de la densité en limitant les frottements latéraux. Le matériau sera, en quelque sorte, un matériau modèle de la terre de construction.

Les échantillons seront par la suite testés mécaniquement sous différents états de succion. Ces états seront obtenus par un équilibre liquide-vapeur en enceintes à différentes humidités relatives, celles-ci étant contrôlées par solutions salines saturées.

Dans une deuxième phase, nous appliquerons à des échantillons sous charge un cycle hydrique entre 2 valeurs d'humidité relative, l'une étant représentative des conditions moyennes ambiantes à nos latitudes et l'autre correspondant à un état de succion entraînant une baisse significative de la capacité mécanique (état mis en évidence avec la première campagne expérimentale). Le choix d'appliquer ce cycle sous un état de chargement mécanique est justifié par l'hypothèse que l'endommagement peut être expliqué par une déstructuration sous charge due au changement de consistance (plastique ou visqueux) pour des succions suffisamment faibles.

- 2. Modèle de comportement hydro-mécanique

A partir des résultats expérimentaux à l'échelle matériau, on cherchera à déterminer les paramètres d'une loi élasto-plastique avec un critère de type Mohr Coulomb ou Cam Clay. La contrainte effective sera choisie comme variable constitutive et son expression en fonction de la succion sera recherchée [Bishop1959]. L'unicité du critère écrit en contrainte effective, sera investigué en comparant les critères obtenus lors d'essais triaxiaux en condition saturée et non saturée.

- 3. Analyse expérimentale et modélisation à l'échelle paroi

Enfin, une analyse expérimentale à l'échelle d'un élément de structure sera réalisée afin d'étudier la réponse sous un chargement hydrique non uniforme et afin de vérifier le caractère prédictif de la modélisation numérique.

Un élément de structure (poteau) de hauteur d'ordre métrique sera mis en place par compaction statique et soumis à une condition hydrique de remontée capillaire et un chargement statique par pallier. La répartition en eau sera analysée par la pose, le long du potelet de capteurs d'humidité relative. De plus, les déformations seront suivies au niveau global et local. La nature des déformations irréversibles (plastiques ou visqueuses) ainsi que la résistance à la rupture seront recherchées. En parallèle, le modèle numérique cherchera à reproduire le comportement de la paroi (dans l'hypothèse de l'élasto-plasticité) jusqu'à la rupture.

3/Valorisation

Cette thèse devra donner lieu à plusieurs communications sur les résultats. Nous prévoyons une présentation en conférence par an, dont l'une d'elle devra être d'envergure internationale.

Par ailleurs nous comptons sur la publication de 3 à 4 articles en revue internationale à comité de lecture.

Références :

- Beckett, C., & Augarde, C. (2012). The effect of relative humidity and temperature on the unconfined compressive strength of rammed earth. In *Unsaturated Soils: Research and Applications* (pp. 287-292). Springer Berlin Heidelberg.
- Bishop AW, The principle of effective stress, *Tecnisk Ukeblad* 39 (1959) 859-863.
- Bui Q.-B., Morel J.-C., Hans S., Meunier N. (2009). Compression behaviour of nonindustrial materials in civil engineering by three scale experiments: the case of rammed earth. *Materials and Structures*, vol. 42, p. 1101-1116.
- Bui, Q.-B., Morel, J.-C., Hans, S., & Walker, P. (2014a). Effect of moisture content on the mechanical characteristics of rammed earth. *Construction and Building materials*, 54, 163-169.
- Champiré, F., Fabbri, A., Morel, J.-C., Wong, H., & McGregor, F. (2016). Impact of relative humidity on the mechanical behavior of compacted earth as a building material. *Construction and Building Materials*, 110, 70-78.
- Gallipoli, D., Bruno, A.-W., Perlot, C., & Salmon, N. (2014). *Raw earth construction: is there a role for unsaturated soil mechanics* (pp. 55-62). Taylor & Francis Group, London, UK.
- Hall, M. & Djerbib, Y. (2004). Rammed earth sample production: context, recommendations and consistency. *Construction and Building Materials*, 18(4), 281-286.
- Jaquin, P.-A., Augarde, C.-E., & Legrand, L. (2008). Unsaturated characteristics of rammed earth. In *First European Conference on Unsaturated Soils, Durham, England* (pp. 417-422).
- Jaquin, P.-A., Augarde, C.-E., Gallipoli, D., & Toll, D.-G. (2009). The strength of unstabilised rammed earth materials. *Géotechnique.*, 59(5), 487-490.
- Lilley, D.-M. & Robinson, J. (1995). Ultimate strength of rammed earth walls with openings. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Structures and buildings*, 110(3), 278-287.

6. CANDIDAT RECHERCHE : *Le candidat recherché devra avoir de solides compétences en mécanique des milieux continus et/ ou mécanique des structures et/ou géomécanique. Il devra faire preuve d'un goût prononcé à la fois pour le développement de campagnes expérimentales et pour la modélisation numérique. Enfin une bonne capacité d'autonomie et de communication (notamment écrite) seront indispensables.*

7. FINANCEMENT DE LA THESE : *Le contrat doctoral fixe une rémunération minimale, indexée sur l'évolution des rémunérations de la fonction publique : depuis le 1er février 2017, elle s'élève à **1768,55 euros bruts mensuels** pour une activité de recherche seule. Un avenant attributif d'une mission complémentaire d'enseignement est possible pour une durée de 2 ans. Sous réserve de la publication de l'arrêté fixant le taux de rémunération des heures complémentaires, la rémunération mensuelle sera de 220, 80 euros bruts pour 64 heures ETD par année universitaire.*

8. CONTACT :

Nom prénom : Noémie Prime

Tél : 04 79 75 88 17

Email : noemie.prime@univ-smb.fr