

Proposition de thèse de doctorat

Début : Octobre 2024

Titre de la thèse : Effet de la variabilité des propriétés hygrothermiques de composites terre crue/ajouts végétaux sur le comportement énergétique et le confort des bâtiments: démarche stochastique et couplage avec STD

Laboratoire : GeM, UMR CNRS 6183 Institut de recherche en Génie civil Et Mécanique

UTR : Approche de l'Ingénierie Verte

Localisation de la thèse : Saint-Nazaire

Directeur de thèse :

Stéphanie BONNET

Mail : stephanie.bonnet@univ-nantes.fr

Co-Encadrants

Nabil ISSAADI

Mail : nabil.issaadi@univ-nantes.fr

Romain CLERC

romain.clerc@univ-nantes.fr

Description du sujet

L'impact environnemental du secteur du bâtiment est très important, tant du point de vue de la consommation des ressources naturelles que du point de vue de la consommation énergétique pour assurer les conditions de confort hygrothermique dans les locaux résidentiels ou tertiaires. Dans le but de réduire l'impact de la construction de bâtiments neufs, la terre crue, matériau vernaculaire et ancestral, semble être une alternative crédible au tout béton [1].

La terre crue est un matériau naturel issu de la décomposition lente du substrat rocheux local. Il en résulte une grande diversité dans la composition des différentes typologies de terre, couramment décrite par différents indicateurs (granularité, texture, type et activité des argiles). Les fibres végétales éventuellement ajoutées à la terre sont systématiquement issues de ressources agricoles ou naturelles, et donc fortement dépendantes des cultures locales. La terre et les fibres sont donc des matières premières peu transformées, non industrialisées et non standardisées, et présentent de fortes variabilités du fait de leur origine naturelle. De plus, il existe différents procédés de construction avec différents niveaux et procédés de compactage souvent manuels et difficilement reproductibles d'un opérateur à l'autre.

Contrairement aux matériaux conventionnels, les propriétés des matériaux bio-sourcés et géo-sourcés sont peu stables [2-4]. Alors que les concepteurs et modélisateurs utilisent en général les moyennes des mesures expérimentales sur un faible nombre d'essais comme valeur efficace, plusieurs recherches [2, 5-11] ont montré une variabilité aléatoire et spatiale importantes des propriétés hygrothermiques d'un même composite terre crue – ajouts végétales (Figure 1 et 2). Ainsi, la propagation partielle ou erronée de ces variabilités (basée sur des résultats pas toujours représentatifs des mesures, et/ou négligeant la variabilité spatiale) pourrait conduire à un mauvais dimensionnement ou une mauvaise estimation des performances des bâtiments en terre crue, tout comme cela est largement prouvé pour des ouvrages en béton armé [16, 17]

La simulation du comportement énergétique des bâtiments utilisant des matériaux de construction géo ou bio sourcés donc largement hygroscopiques est un véritable enjeu, en termes de réglementation et labellisation. Aujourd'hui, nous manquons de modèles de référence pour le comportement hygrothermique qui propose une modélisation dynamique des échanges hygrothermiques entre l'enveloppe du bâtiment et l'ambiance habitable. En effet, Les techniques de simulation actuelles pour estimer le comportement énergétique des bâtiments sont fondées sur des

approches physiques incapables de prendre en compte toutes les conditions et situations réelles. Peu d'outils de simulation du bâtiment détaillent précisément l'enveloppe [15] et ces outils ne prennent pas en compte les gradients hydriques entre ambiances extérieure et intérieure, considérés comme peu influents pour la plupart des logiciels de simulation actuels.

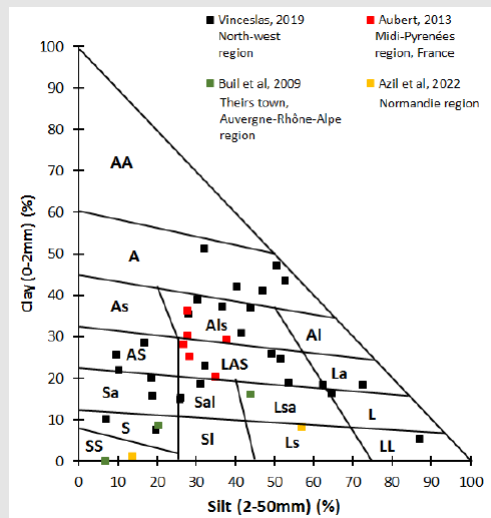


Figure 1. Variabilité de la texture du sol utilisée dans les bâtiments en terre à travers la France [12-14].

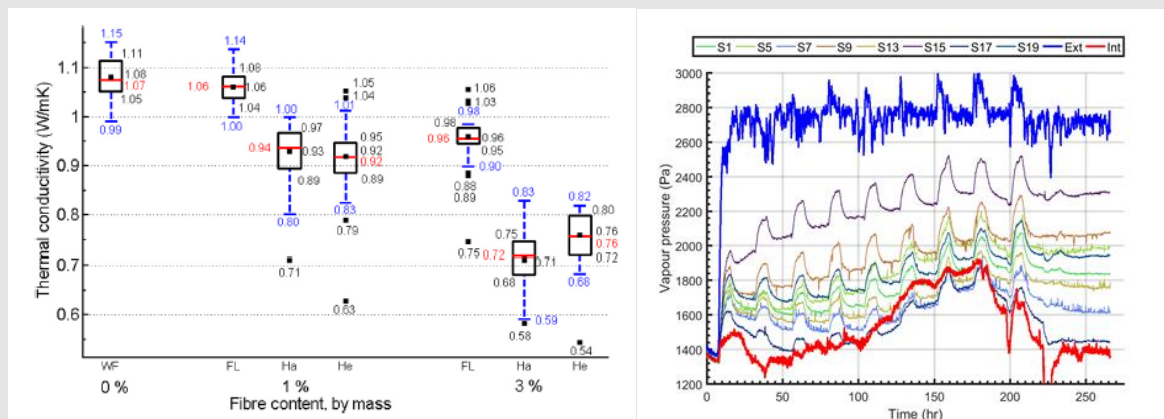


Figure 2. (i) Variabilité aléatoire de la conductivité thermique et (ii) variabilité des profils de pression de vapeur d'un mur en terre crue à 25mm de profondeur (WF : sans ajouts, FL : fibre de lin, Ha : tige de foin, He : chenevotte) [5]

L'objectif de ce projet est d'implémenter une démarche stochastique de prise en compte de la variabilité des propriétés hygrothermique de la terre crue dans un outil de conception de parois de bâtiment (TRNSYS). Une plateforme de co-simulation sera développée par l'équipe. Elle sera utilisée pour y intégrer cette méthodologie et avoir une plateforme de co-simulation complète allant de **l'échelle du matériau** avec la prise en compte de la variabilité à **l'échelle de la paroi** en utilisant le modèle réduit de transferts couplés de chaleur et d'humidité, puis à **l'échelle du bâtiment** avec des Simulations Thermiques Dynamiques (STD) pour évaluer les besoins en chauffage/climatisation, la consommation énergétique et le confort des usagers.

References:

- [1] E. Hamard, B. Cazacliu, A. Razakamanantsoa, J.C. Morel, 2016, Cob a vernacular earth construction process in the context of modern sustainable building, *Building and Environment*, 106 (2016) 103-119
- [2] M. Barnaure, S. Bonnet, et P. Poullain, « Earth buildings with local materials: Assessing the variability of properties measured using non-destructive methods », *Construction and Building Materials*, vol. 281, p. 122613, avr. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122613.
- [3] C. Niyigena et al., « Variability of the mechanical properties of hemp concrete », *Materials Today Communications*, vol. 7, p. 122- 133, juin 2016, doi: 10.1016/j.mtcomm.2016.03.003.
- [4] O. López, I. Torres, A. S. Guimarães, J. M. P. Q. Delgado, et V. P. de Freitas, « Inter-laboratory variability results of porous building materials hygrothermal properties », *Construction and Building Materials*, vol. 156, p. 412- 423, déc. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.08.184.
- [5] J. Tchiotsop, Issaadi, Philippe Poullain, Stéphanie Bonnet, Rafik Belarbi, « Assessment of the natural variability of cob buildings hygric and thermal properties at material scale: Influence of plants add-ons », *Construction and Building Materials*, Volume 342, Part B, 2022, 127922, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127922>.
- [6] H. Cagnon, J. E. Aubert, M. Coutand, et C. Magniont, « Hygrothermal properties of earth bricks », *Energy and Buildings*, vol. 80, p. 208- 217, sept. 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.05.024.
- [7] J.-E. Aubert, « Caractérisation des briques de terre crue de Midi-Pyrénées », *Laboratoire de Recherche en Architecture (LRA) - ENSA Toulouse*, avr. 2013.
- [8] P. Maillard et J. E. Aubert, « Effects of the anisotropy of extruded earth bricks on their hygrothermal properties », *Construction and Building Materials*, vol. 63, p. 56- 61, juill. 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.001.
- [9] T. Ashour, H. Wieland, H. Georg, F.-J. Bockisch, et W. Wu, « The influence of natural reinforcement fibres on insulation values of earth plaster for straw bale buildings », *Materials & Design*, vol. 31, no 10, p. 4676- 4685, déc. 2010, doi: 10.1016/j.matdes.2010.05.026.
- [10] T. Vineslas, T. Colinart, H. Lenormand, A. H. de Menibus, E. Hamard, et T. Lecompte, « (16) (PDF) HYGROTHERMAL PROPERTIES OF LIGHT EARTH INSULATION MATERIALS: EVALUATION OF UNCERTAINTIES AND CONSEQUENCES », *ResearchGate*.
- [11] R. M. Gandia, F. C. Gomes, A. A. R. Corrêa, M. C. Rodrigues, et R. F. Mendes, « Physical, mechanical and thermal behavior of adobe stabilized with glass fiber reinforced polymer waste », *Construction and Building Materials*, vol. 222, p. 168- 182, oct. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.06.107.
- [12] Théo Vineslas. Caractérisation d'éco-matériaux terre-chanvre en prenant en compte la variabilité des ressources disponibles localement. phdthesis, Université de Bretagne Sud, November 2019.
- [13] Jean-Emmanuel Aubert. Caractérisation des briques de terre crue de Midi-Pyrénées. Technical report, *Laboratoire de Recherche en Architecture (LRA) - ENSA Toulouse*, April 2013.
- [14] Quoc-Bao Bui and Jean-Claude Morel. Assessing the anisotropy of rammed earth. *Construction and Building Materials*, 23(9):3005–3011, September 2009.
- [15] Mohamed-Ali Hamdaoui, Mohammed-Hichem Benzaama, Yassine El Mendili, Daniel Chateigner, A review on physical and data-driven modeling of buildings hygrothermal behavior: Models, approaches and simulation tools, *Energy and Buildings*, Volume 251, 2021.

[16] Zhang, M., H. Song, S. Lim, M. Akiyama, and D. M. Frangopol. 2019. "Reliability estimation of corroded RC structures based on spatial variability using experimental evidence, probabilistic analysis and finite element method." *Engineering Structures*, 192: 30–52.

<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.04.085>.

[17] Clerc, R., M. Oumouni, and F. Schoefs. 2019. "SCAP-1D : A Spatial Correlation Assessment Procedure from unidimensional discrete data." *Reliability Engineering & System Safety*, 191: 106498.

<https://doi.org/10.1016/j.res.2019.106498>.

Compétences requises

Programmation ; Méthodes numériques ; Couplage hygrothermique ; Simulation Thermique Dynamique ; Méthodes probabilistes

Commentaires Supplémentaires

Financement prévu : bourse doctorale

Documents à joindre à votre candidature

Lettre de motivation

CV

Diplômes et relevés de notes et **surtout classement dans la promotion pour L3 M1 & si possible M2 (ou équivalent)**

Lettre(s) de recommandation