

Offre de sujet de thèse :

‘L’isolation thermique en matériaux biosourcés du bâti en terre crue : comportement hygrothermique des assemblages multicouches’

Spécialité de doctorat : Doctorat Génie Civil et Sciences de l’Habitat

Directeur ou directrice de thèse : Monika WOLOSZYN

1. Contexte

La réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur de la construction est une nécessité, comme le propose la nouvelle réglementation environnementale française (RE2020), qui s’applique aux bâtiments neufs et encourage l’utilisation de matériaux bas carbone et la rénovation énergétique. Dans ce contexte, la construction en terre crue – une technique traditionnelle, durable et renouvelable – représentant 20 % du patrimoine mondial de l’UNESCO (Gandreau et al, 2013) et 15 % du patrimoine architectural français, offre une solution prometteuse, comme le confirment de nombreuses études récentes (Ben Alon et al. 2021, Ben Alon et al 2023, Rosa Latapie et al 2023, Giuffrieda et al 2024). Parmi les différentes techniques de construction en terre, le travail proposé ici se concentre sur le pisé, un élément clé du patrimoine culturel de la région Auvergne-Rhône-Alpes.



D’un point de vue hygrothermique, le mur en pisé (avec une épaisseur typique comprise entre 30 et 60 cm) agit comme un régulateur, accumulant et restituant la chaleur et la vapeur d’eau sur des cycles journaliers et saisonniers (Poupard et al, 2024). Cependant, sa conductivité thermique élevée souligne la nécessité d’ajouter une isolation pour respecter les exigences minimales de la réglementation thermique française en vigueur. En raison de sa sensibilité à l’eau liquide, cette isolation doit être conçue pour préserver l’équilibre hydrique du pisé, celui-ci étant primordial pour garantir la résistance mécanique de la structure (Bui et al. 2014, Indekeu et al. 2025). Les matériaux biosourcés sont préconisés pour le bâti terre, qu’il soit ancien ou neuf, du fait de leur performance environnementale et de leur compatibilité avec la terre pour limiter les désordres dus à l’accumulation d’humidité.

Des travaux récents au LOCIE mettent en évidence expérimentalement l'apparition et le développement des pathologies humides dans un complexe terre-isolant, et tentent de comparer l'effet de la nature des isolants sur ce risque (Girerd et al, 2026). Par ailleurs, l'un des résultats préliminaires de montre – sur une configuration de séchage 1D de la terre au travers de son isolant- que la nature de l'interface entre les 2 matériaux (contact ou non) influence l'intensité des transferts hydriques pour des états initiaux élevés d'humidité (figure 2).

En considérant différentes échelles d'études, Losini et al. 2026 ont montré qu'il est possible d'établir une prédiction directe des performances thermiques des matériaux terre crue à l'échelle du bâtiment à partir des données simples. En revanche, le comportement hygroscopique de ces matériaux bio-sourcés est bien plus complexe : il dépend de l'interaction de multiples propriétés à l'échelle du matériau (cinétiques d'adsorption et de désorption, perméabilité à la vapeur), ainsi que des conditions aux limites. Ainsi, le choix d'un matériau basé uniquement sur une caractéristique simple, telle que sa valeur de MBV (Moisture Buffer Value) n'est pas suffisante pour garantir une amélioration des performances à l'échelle du bâtiment. Les phénomènes sont encore plus complexes dans les cas des parois multi-couches, tels que le pisé isolé par matériau bio-sourcé.

2. Problématique scientifique

Ce travail de thèse propose de lever les verrous scientifiques concernant les stratégies d'isolation du bâti en terre avec des matériaux biosourcés. Ainsi l'objectif de la thèse est d'analyser la performance thermique, mais aussi la durabilité (vis-à-vis de la pathologie humide) de l'association paroi pisé / isolant biosourcé dont la particularité est d'être une association de 2 matériaux hygroscopiques et perméables à la vapeur. Le transfert de chaleur latente et l'équilibre liquide-vapeur (adsorption et désorption) au sein des matériaux poreux sont ainsi des phénomènes qui viennent complexifier le simple transfert de chaleur sensible et le stockage de chaleur par capacité thermique.

Plusieurs questions de recherche vont guider ce travail :

- Comment étudier et représenter les transferts de chaleur sensible et latente dans les parois en pisé isolées ?
- Comment mesurer et modéliser les transferts aux interfaces des matériaux, pour différentes valeurs de la teneur en eau des matériaux ?

L'objectif est de fournir des données et des outils de modélisations scientifiques, permettant de fournir, à terme, des réponses robustes aux questions sociétales de la rénovation thermique du bâti ancien.

3. Méthodologie

Afin de répondre aux questions de recherche, ce travail s'attachera à analyser les transferts de masse et de chaleur au sein des parois bicouches analysées, en portant une attention particulière aux interfaces. Une étude expérimentale et une étude numérique seront conduites en parallèle.

La spécificité du laboratoire est de pouvoir investiguer expérimentalement à la fois l'échelle VER pour la terre et les biosourcés (caractérisation des leurs propriétés d'un point de vue hygro-thermique : conductivité thermique en fonction de l'humidité relative, isotherme de sorption, perméabilité à la vapeur, densité) et l'échelle 'paroi'. Pour celle-ci, on s'appuiera sur le dispositif expérimental développé par Manon Girerd, dans le cadre de sa thèse décrite plus haut, où une paroi bicouche de 60 x 60 cm constituée d'une couche

de pisé juxtaposée à une couche d'isolant est mise en place dans une enceinte climatique, entre 2 conditions aux limites contrôlées en humidité relative et en température.

Le dispositif expérimental sera instrumenté avec plusieurs capteurs de température et humidité relative qui seront positionnés dans les parois (aux interfaces des matériaux, au sein des principales couches, et dans les ambiances extérieures et intérieures). Des fluxmètres compléteront l'instrumentation des parois. Il est à noter que le laboratoire dispose de fluxmètres pleins et perforés, et les travaux préliminaires montrent des réponses différentes en présence de vapeur (Hajj Obeid et al. 2024). Le dispositif sera particulièrement adapté pour étudier les phases transitoires de flux énergétiques (sensibles et latents), sur de longues durées, nécessaires pour l'étude des parois massives, telles que le pisé.

Il est envisagé de tester quelques associations différentes de matériaux (avec différentes propriétés de transfert de chaleur et de masse), et plusieurs conditions aux limites, en particulier proches ou éloignées de pathologies humides. Une des limitations expérimentales est imposée par des constantes de temps très importantes pour des transferts d'eau dans le pisé (plusieurs mois).

Une modélisation numérique sera développée dès le début du travail de thèse, afin de permettre de mieux comprendre les résultats de mesures et d'effectuer des tests complémentaires. Le modèle de base sera basé sur les équations de transferts de chaleur et de masse couplés, déjà utilisées dans le domaine de physique du bâtiment. Ces modèles seront alimentés avec des propriétés de matériaux mesurés en laboratoire, en utilisant les dispositifs existants aux LOCIE, dont certaines expérimentations mises en place récemment (Machlein et al. 2026). Les comparaisons avec les résultats expérimentaux permettront de valider le modèle, en l'améliorant si nécessaire.

L'originalité sera d'étudier de manière ciblée les transferts aux interfaces entre les matériaux - les travaux habituels assument en général un contact parfait. Les résultats déjà obtenus au LOCIE suggèrent que cette hypothèse ne peut pas être admise dans le cas de matériaux fortement hygroscopiques (comme le pisé et les isolants bio-sourcés), notamment dans le cas de forte teneur en eau. Une modélisation hygrothermique des transferts couplés à l'interface sera donc proposée dans ce travail, et constituera une originalité scientifique importante par rapport à l'état de l'art.

L'originalité sera d'aller au-delà de l'état de l'art, avec en particulier la modélisation numérique basée sur l'interprétation théorique des transferts aux interfaces et sur l'instrumentation de ces transferts.

4. Références bibliographiques

- Ben-Alon L, Loftness V, Harries KA, Cochran Hameen E (2021) Life cycle assessment (LCA) of natural vs conventional building assemblies. *Renew Sustain Energy Rev* 144:110951.
- Ben-Alon L, Rempel AR (2023) Thermal comfort and passive survivability in earthen buildings. *Build Environ* 238:110339. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110339>
- Bui, Q. B., Morel, J. C., Hans, S., & Walker, P. (2014). Effect of moisture content on the mechanical characteristics of rammed earth. *Construction and Building materials*, 54, 163-169.
- Indekeu, M. L., & Woloszyn, M. (2025). The impact of interior insulation on the hygrothermal and mechanical performance of rammed earth walls. *Journal of Building Engineering*, 113968.
- D. Gandreau and T. Joffroy, "Inventaire 2012 des biens en terre du patrimoine mondial," presented at the Earthen Architecture in today's world: Proceedings of the UNESCO International Colloquium on the

Conservation of World Heritage Earthen Architecture, L. Eloundou and T. Joffroy, Eds., in World Heritage papers, vol. 36.

UNESCO, 2013, pp. 228–231. 978–92–3–001236–6

Girerd, M., Plé, O., & Prime, N. (2026). The challenge of insulating rammed earth: recommendations based on literature review. *Materials and Structures*, 59(2), 66.

Giuffrida G, Dipasquale L, Pulselli RM, Caponetto R (2024) Compared environmental lifecycle performances of earth-based walls to drive building envelope design. *Sustainability* 16(4):1367.

Hajj-Obeid, M., Cloet, D., Pailha, M., & Woloszyn, M. (2024, December). Integrating Humidity Variation and Mass Diffusion in Hygroscopic Construction Materials. In *Multiphysics and Multiscale Building Physics: Proceedings of the 9th Intern. Building Physics Conference (IBPC 2024) Volume 1: Moisture and Materials* (p. 332). Springer Nature.

Losini A., Woloszyn M., Dotelli G., & Grillet A-C. (2026). About the link between lab-measured material properties and whole building performance simulation: Application to bio-stabilized rammed earth. *Journal of Building Physics*.

Machlein, E., Prime, N., & Losini, A. E. (2026). Durability of bio-stabilized rammed earth evaluated through water absorption tests with increasing severity. *Materials and structures*, 59(1), 41.

Rosa Latapie S, Abou-Chakra A, Sabathier V (2023) Bibliometric analysis of bio- and earth-based building materials: current and future trends. *Constr Mater* 3(4):474–508.

(RE2020) Ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires et Ministère de la transition énergétique, “Réglementation environnementale RE2020.”

5. Candidat recherché

- Formation de base en sciences du bâtiment, transferts énergétiques,
- Appétence pour le travail expérimental et pour la modélisation numérique,
- Capacité d'analyse et de synthèse.

La connaissance des matériaux de construction bas carbone et/ou des transferts hygrothermiques serait un plus.

Le financement du/de la candidate est soumis au concours interne de l'École doctorale SIE de l'Université Savoie Mont Blanc qui aura lieu en juin. Dans ce contexte, il/elle devra avoir un très bon dossier académique avec un classement de master dans le premier quart de sa promotion.

Contact : monika.woloszyn@univ-smb.fr / noemie.prime@univ-smb.fr – 04 79 75 86 18