

Détermination expérimentale des courbes de gel/dégel des briques de terre crue compactée.

Période : Avril 2021-Aout 2021.

Laboratoire d'accueil : Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, site de l'ENTPE, équipe Géomatériaux et Constructions Durables. <http://ltds.ec-lyon.fr/spip/> ; <https://www.entpe.fr/>

Contexte

L'utilisation de la terre crue est fortement répandue dans les quelques millions de logements construits en France avant 1948. En particulier, dans la zone délimitée par l'ancienne région Rhône-Alpes, 40% des habitations rurales sont construites en pisé (technique consistant à construire des murs monolithiques de terre crue paramage entre banches). Cependant, par manque de connaissance scientifique, il n'existe pas aujourd'hui de guides de bonnes pratiques, de règles professionnelles ou de normes pour l'entretien et la réhabilitation de ces constructions. Ce manque conduit fréquemment à appliquer des méthodes non adaptées et/ou à remplacer l'existant en terre par d'autres matériaux de constructions, écologiquement moins performants, mais bénéficiant de procédures de tests normalisés.

La forte affinité du matériau terre avec les molécules d'eau est essentielle car elle est responsable de la cohésion du matériau et de ses bonnes propriétés hygrothermiques. Elle induit cependant une forte complexité du comportement mécanique.

Dans le cas des constructions en terre dans les régions froides et tempérées, tels que la région Auvergne-Rhône-Alpes, la présence d'eau liquide pose la question de la résistance au gel-dégel. En effet, bien que la présence de glace au sein du réseau poreux ait plutôt tendance à rigidifier le matériau et à augmenter sa résistance, l'augmentation de volume due à la solidification de l'eau poreuse peut induire des déformations irréversibles au sein du matériau et dégrader ses propriétés lors du dégel. Une action visible de la dégradation est l'érosion de surface des murs due au gel-dégel de l'eau de pluie absorbée dans les (micro)-fissures en surface du matériau. De plus, en se basant sur l'expertise qu'ils ont réalisée sur plusieurs centaines de constructions en pisé dans la région Auvergne-Rhône-Alpes, Scarato et Jeannet (2015) ont pu observer une augmentation significative des pathologies graves lors des périodes de dégel, entre février et avril. Ainsi, même si le lien théorique n'a pas encore été établi par la communauté scientifique, ces auteurs mettent en évidence la forte probabilité d'un impact significatif des phénomènes de gel-dégel sur la pérennité des constructions en terre lorsqu'elles ont été soumises à une imbibition anormale.

Le gel est également un frein non négligeable au développement de constructions neuves en terre. En effet, il est communément admis qu'il est impossible de construire des murs en pisé de fin octobre à début mars en raison des risques de gel qui pourraient porter atteinte à leur intégrité. Cependant, ce postulat, qui est basé sur un savoir-faire empirique, n'est plus forcément adapté au pisé moderne. En outre, il serait intéressant d'étudier les conditions (teneur en eau de fabrication de la terre, type de terre, énergie de compactage, type de coffrage et temps de décoffrage, etc...) qui pourraient permettre une construction hivernale.

Description du travail de stage

Lors du gel, l'eau contenue dans les pores ne se solidifie pas complètement en raison des interactions entre la surface des pores et l'eau. Le matériau contient donc de l'eau restée liquide, de la glace, et de l'air dans le cas d'un milieu initialement non saturé. Des détériorations considérables et localisées peuvent alors être induites par le mouvement de l'eau non gelée vers les fronts de gel (surface du matériau) -ce phénomène est appelé *cryosuction*- combiné à l'expansion volumique associée à la transformation.

Ces deux phénomènes dépendent principalement de la fraction d'eau liquide qui se transforme en glace. Dès lors, la relation entre la proportion volumique d'eau solidifiée dans un milieu poreux soumis au froid et sa température est particulièrement importante pour prédire correctement son comportement au gel-dégel.

Le but principal de ce stage sera de mettre au point un dispositif expérimental permettant d'évaluer cette relation. Pour ce faire, l'idée sera de mesurer les variations de la constante diélectrique du matériau lors de cycles de gel-dégel par le biais de sondes TDR. En effet, la constante diélectrique de l'eau liquide (80 environ) est largement plus grande que celle de la glace (environ 3). Ainsi, toute solidification de l'eau contenue dans les pores du bloc de terre compacté induira une modification significative de sa constante diélectrique globale.

Une fois le dispositif mis au point, il sera utilisé afin de déterminer les courbes de gel-dégel d'échantillons de densités différentes et réalisés avec des terres de minéralogies différentes. Le lien entre la structure poreuse du matériau et sa courbe de gel sera établi par comparaison avec les distributions de tailles de pores et des isothermes d'adsorption-désorptions obtenus pour chacun des matériaux testés.

Enfin, les résultats obtenus seront introduits dans un modèle de comportement poromécanique (qui a déjà été développé par ailleurs) afin de prédire les contraintes/déformations d'échantillons soumis à des cycles de gel-dégel sous gradient thermique. Les résultats numériques obtenus seront comparés à ceux issue d'expériences de laboratoire. En fonction de l'état d'avancement des travaux, le stagiaire pourra également participer à la mise au point desdites expériences.

Encadrement et candidature

Lassana Traoré (lassana.traore@entpe.fr) Doctorant
Fionn McGregor (fionn.mcgregor@entpe.fr)
Antonin Fabbri (antonin.fabbri@entpe.fr)

Pour candidater, merci de transmettre votre CV et votre relevé de notes à l'équipe encadrante.

Adsorption dynamique du CO₂ dans les enduits hygroscopiques (terre/biosourcés)

Période : Avril 2021-Aout 2021.

Laboratoire d'accueil : Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, site de l'ENTPE, équipe Géomatériaux et Constructions Durables. <http://ltds.ec-lyon.fr/spip/> ; <https://www.entpe.fr/>

Contexte

Les préoccupations liées au confort intérieur et à l'évolution de la qualité de l'air ne cessent de prendre de l'ampleur avec les nouveaux modes de construction. La haute performance énergétique des bâtiments implique de faibles taux de renouvellement de l'air et par conséquent une dépendance grandissante aux systèmes de contrôle mécanisés. De nombreuses études montrent cependant une performance relative de ces systèmes, alors que des recherches récentes démontrent la capacité des matériaux géo- et bio-sourcés à participer à la régulation de la qualité de l'air intérieur. Notamment pour la régulation hygrométrique où le comportement hygroscopique de ces matériaux peut jouer un rôle considérable. Ainsi, déléguer une partie du contrôle automatisé à une régulation passive par les matériaux pourrait réduire les factures énergétiques et augmenter la résilience des bâtiments. Ce comportement commence d'ailleurs à être intégré dès la conception des bâtiments, à l'image de celui construit récemment en béton biosourcé pour conserver des pièces d'un grand musée londonien.

Sur ce même principe, l'interaction avec les polluants courants est également possible et commence à être étudiée, notamment avec l'ozone, les composés organiques volatils et le CO₂. La particularité du CO₂ est sa nature anthropogénique : son taux dans l'air intérieur est principalement lié à l'occupation du bâtiment. Ainsi, fréquemment des pics de concentration peuvent être observés pour lesquels la ventilation n'est plus suffisante. A titre d'exemple, Manuel C. Gameiro da Silva a mesuré en 2007 l'évolution de la concentration en CO₂ dans une salle de conférence contenant 200 personnes. Bien que la salle était ventilée, des pics de CO₂ ont pu être observés lors des phases de forte présence dans la salle de conférence (cf. Figure 1).

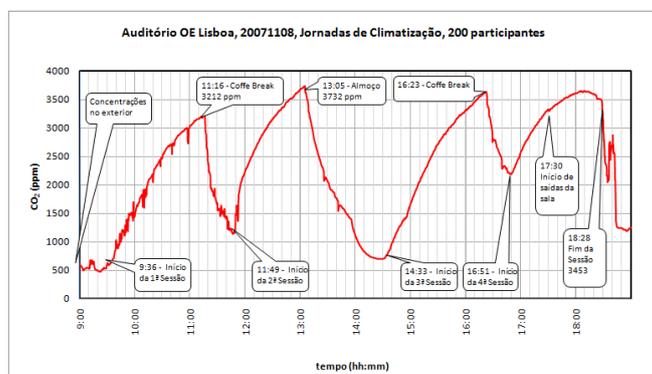


Figure 1. Evolution de la concentration en CO₂ (en ppm) dans une salle de conférence contenant 200 personnes. Données issues de Manuel C. Gameiro da Silva Reseach Group in Energy, Environment and Comfort, ADAI-LAETA, Department of Mechanical Engineering University of Coimbra.

Le lissage de ces fluctuations pourrait en partie être réalisé par la mise en place d'enduits ayant une forte capacité d'adsorption de CO₂. Ce type d'enduit permettrait en outre une réduction des consommations énergétiques liés aux systèmes automatisés.

Dans ce contexte, ce travail de master vise à étudier les processus d'interactions entre le CO₂, l'eau et le matériau. Notamment, une attention particulière sera portée aux processus de physisorption, de dissolution ainsi qu'à celui de carbonatation.

Ce travail pourra bénéficier d'un dispositif expérimental récemment mis au point à l'ENTPE, permettant de mesurer les variations de masse et de chaleur induites par les interactions entre le gaz injecté (mélange air sec, vapeur d'eau -HR entre 0% et 98%- et CO₂-de 400 à 10000 ppm-) et le matériau (cf. Figure 2).

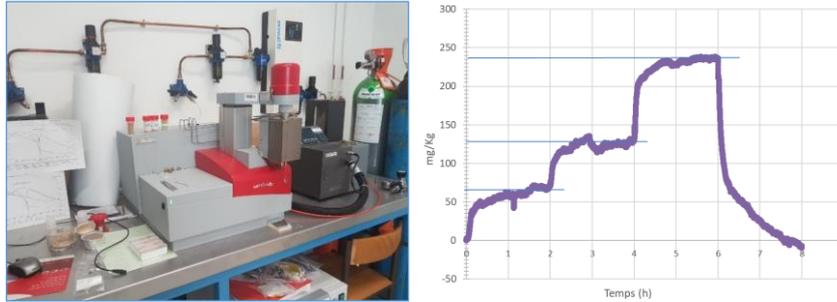


Figure 2. (Gauche) Dispositif SENSYS équipé du mélangeur de gaz. (Droite) Exemple de courbe de sorption de CO₂ obtenu sur un échantillon de terre crue (résultat préliminaire non publié).

L'objectif scientifique de ce stage sera de comprendre le lien entre la formulation de l'enduit, les conditions extérieures (température, humidité, concentration en CO₂) et les interactions entre le CO₂ et le matériau.

Description du travail de stage

Phase 1/ Fabrication et caractérisation initiale des enduits hygroscopiques.

Les matériaux étudiés seront dans un premier temps caractérisés de manière à définir leur microstructure et les propriétés de transferts hygrothermiques. Les mesures porteront sur les porosités inter-particulaires et intra-particulaires, la densité sèche, les courbes de sorption/désorption, la perméabilité à la vapeur, la conductivité thermique et la capacité thermique.

Phase 2/ Mise en place d'un essai expérimental à l'échelle du matériau

Le travail principal du stage sera de mettre en place une méthodologie d'essai pour évaluer l'adsorption dynamique de CO₂ au sein du matériau poreux. Pour cela, il sera nécessaire de différencier l'adsorption de CO₂ des autres phénomènes susceptibles de se produire, tels que la dissolution du CO₂ dans l'eau et la carbonatation des phases cimentaires. Pour ce faire, une piste serait d'analyser la réversibilité de la quantité de CO₂ adsorbée, ainsi que les enthalpies d'adsorption et de désorption, en fonction de la teneur en eau, de la composition et de la microstructure des matériaux.

Phase 3/ Analyse des résultats et rédaction du rapport

La procédure d'essai étant mise en place, une campagne d'essai visant à étudier l'impact de la formulation des enduits sur les interactions entre le matériau, l'eau et le CO₂ pourra être réalisée. Les résultats seront analysés à la lumière d'une étude bibliographique poussée sur les processus d'interactions entre les phases solides du matériau (argile, biosourcés....) et le CO₂.

Encadrement et candidature

Fionn McGregor (fionn.mcgregor@entpe.fr)

Antonin Fabbri (antonin.fabbri@entpe.fr)

Pour candidater, merci de transmettre votre CV et votre relevé de notes à l'équipe encadrante.