

Comportement hygrothermique d'un mur en terre-chanvre soumis au climat estival non ensoleillé de Rennes

Naima Boumediene^{1,2,*}, Florence Collet¹, Sylvie Prétot¹, Lazhar Ayed², Sami Elaoud²

¹ Univ Rennes, Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique, Rennes, France

² Ecole d'ingénieurs de Sfax, Laboratoire de mécanique des fluides appliquée et de modélisation, Sfax, Tunisie.

RESUME Les matériaux biosourcés offrent des performances thermiques et environnementales permettant de réduire la consommation d'énergie et de ressources non renouvelables. Dans ce contexte, le LGCGM a développé des composites de terre chanvre (TC) et a réalisé leur caractérisation multi physique : thermique, hygrique et mécanique. Afin de déterminer leur comportement hygrothermique à l'échelle de la paroi, un mur test est installé comme mur séparatif d'une enceinte bi-climatique, climatisée pour simuler les climats intérieur et extérieur. Cet article présente la caractérisation du comportement hygrothermique d'un mur terre-chanvre sous des sollicitations correspondant au climat estival de Rennes (France) : intérieur (23°C ; 50%) et extérieur nuit (14°C ; 80%) jour (24,5°C ; 50%), sans soleil. La réponse hygrothermique expérimentale du mur est analysée à partir (i) des cinétiques de température et d'humidité relative à différentes positions dans le mur et (ii) des profils de température et de pression de vapeur. Les résultats montrent que les deux tiers de l'épaisseur côté extérieur sont actifs face aux transferts de chaleur et d'humidité. Des phénomènes de sorption-désorption sont mis en évidence dans cette zone.

Mots-clefs mur terre-chanvre, chambre biclimatique, étude expérimentale, température, pression de vapeur

I. INTRODUCTION

Le développement durable est l'un des principaux défis de ces dernières années. Il encourage l'utilisation de matériaux de construction à faibles impacts environnementaux et à haute performance hygrothermique afin de réduire la consommation d'énergie. Parmi ceux-ci, les matériaux biosourcés, constitués de particules ou de fibres végétales, offrent des performances thermiques et environnementales compétitives (Amziane et al., 2017). Dans ce contexte, des composites terre-chanvre ont été développés et caractérisés à l'échelle du matériau au LGCGM (Mazhoud et al., 2017). L'étude à l'échelle de la paroi est une étape intermédiaire nécessaire avant de passer à la construction à l'échelle du bâtiment afin de comprendre le comportement hygrothermique global du mur et de mettre en évidence des phénomènes comme par exemple la condensation interne (Palomar et al, 2019) (Medjelekh et al, 2017). Cette étude porte sur un mur terre-chanvre. Elle est réalisée au sein d'une enceinte biclimatique, en considérant des conditions statiques et dynamiques basées sur les normales saisonnières de Rennes en été.

II. DISPOSITIF EXPERIMENTAL, METROLOGIE ET CLIMAT SIMULE

Le dispositif expérimental comprend deux chambres climatisées adjacentes ayant une profondeur de 2,35 m, une largeur de 2,78 m et une hauteur de 2,4 m (Fig 1a). Le sol est construit en béton ; les murs extérieurs et le plafond sont isolés par des panneaux de polyuréthane étanches à l'humidité et à l'air. La température et l'humidité relative des deux chambres sont contrôlées afin de simuler le climat intérieur et extérieur. Leurs plages sont respectivement de 18 à 27 °C / -5 à 35 °C et de 30 à 60 %HR / 30 à 90 %HR. Chaque paramètre (T et HR) est régulé par un contrôleur universel DR4020 qui agit sur les convecteurs pour le chauffage, le groupe de refroidissement pour la déshumidification et la réfrigération et les humidificateurs à ultrasons pour l'humidification. Ces deux chambres sont séparées par le mur test (Collet et Prétot, 2014) qui peut être divisé en plusieurs parties pour comparer simultanément différentes compositions de paroi. La partie de mur étudiée mesure 110 cm de long et 100 cm de haut. Elle est constituée d'une couche de 28 cm d'épaisseur de composite de terre-chanvre (TC), recouverte d'un enduit pelliculaire à la terre (EPT) de 0,3 cm d'épaisseur sur la face intérieure et d'un enduit chanvre-chaux (ECC) de 3 cm d'épaisseur sur la face extérieure (Fig. 1b). Le mur est instrumenté avec dix capteurs Sensirion SHT35 utilisés comme capteurs d'ambiance et répartis sur l'épaisseur du mur en partie courante (Fig. 1c, d). La précision de ces capteurs est de $\pm 0,1^\circ\text{C}$ pour une plage de température de 20°C à 60°C et de $\pm 1,5\%$ d'humidité relative jusqu'à 80%HR à 25°C . Le pas de temps pour l'acquisition des données est de cinq minutes.

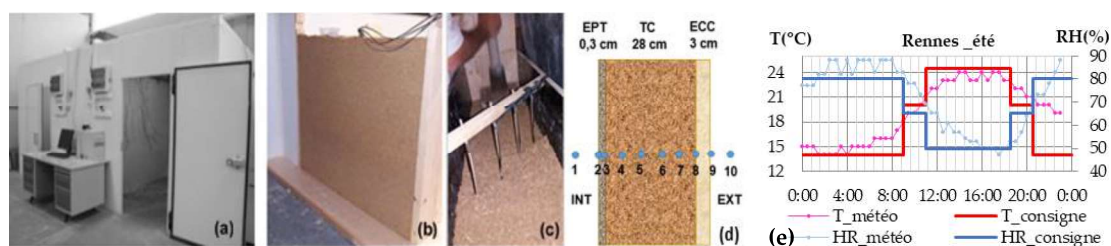


FIGURE 1. Dispositif expérimental (a), paroi TC (b), instrumentation (c)(d), cycle simulé (e)

Le climat simulé correspond à un climat d'été français (Rennes). A partir des données du site météo [www.météofrance.com], une journée type est choisie en fonction des températures moyennes minimales et maximales enregistrées sur la période 1981-2010. En août, la température moyenne de Rennes varie entre un minimum moyen de 14°C et un maximum moyen de $24,5^\circ\text{C}$. Ce cycle est approché en réalisant des créneaux de température et d'humidité relative, avec des conditions nocturnes et diurnes de (14°C ; 80%HR) et ($24,5^\circ\text{C}$; 50%HR) (Fig. 1.e). Les apports solaires ne sont pas considérés. La consigne de la chambre intérieure est (23°C ; 50%HR). Ces conditions conduisent à des flux de chaleur et d'humidité qui s'inversent au cours du cycle. Avant le cycle dynamique, le mur est stabilisé en conditions nuit (intérieur à (23°C ; 50%HR) et extérieur à (14°C ; 80%HR)). Le cycle jour-nuit est ensuite répété quatre fois.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

A. Résultats cinétiques ; température et humidité relative

La Fig.2 donne la cinétique expérimentale de la température et de l'humidité relative des conditions ambiantes (1 et 10) et à plusieurs profondeurs dans le mur (2 à 9).

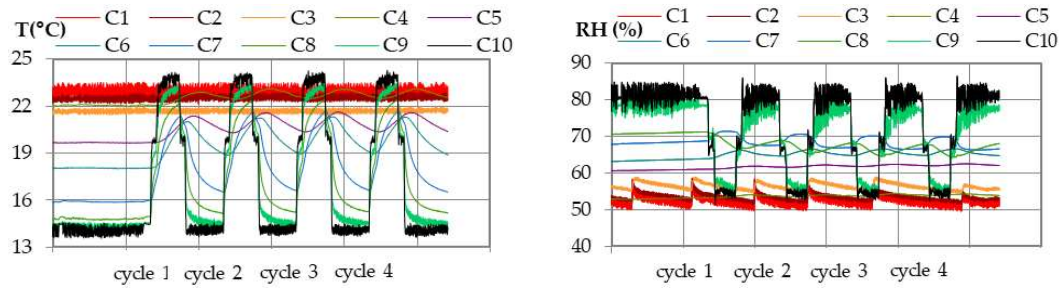


FIGURE 2. Cinétiques expérimentales de température (gauche) et d'humidité relative (droite) à différentes positions dans le mur - graduation du début du cycle à minuit

Les conditions de stabilisation conduisent à des gradients de température et de pression de vapeur de même sens. Le profil de température tend rapidement vers des valeurs stationnaires (3 à 4 jours) et est proche du profil théorique. Bien que le profil d'humidité relative tende également vers la stabilisation, le profil de pression de vapeur n'est pas tout à fait stable et diffère du profil théorique à l'issue de cette période (la valeur atteinte est de 1220 Pa pour 1380 Pa en théorie à l'interface terre-chanvre / enduit extérieur soit 11% d'écart, à 17.1 cm de profondeur l'écart est de 8%).

Pour la sollicitation dynamique, les conditions ambiantes sont globalement en accord avec les consignes fixées. Une faible fluctuation est liée à la régulation des ambiances. Les faisceaux de température et d'humidité relative au sein du mur montrent une croissance pendant les deux premiers cycles, puis les cycles se répètent et deviennent représentatifs au sein du mur.

B. Profils ; sollicitations externes dynamiques

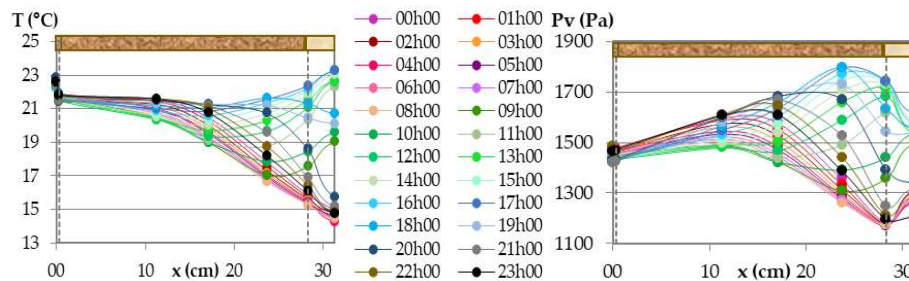


FIGURE 3. profils de température et de pression de vapeur en régime dynamique du cycle 4

La Fig. 3 donne les profils de température et de pression de vapeur, calculée avec T et RH, à différents instants du dernier cycle. En surface intérieure du mur, la température et la pression de vapeur sont quasi-constantes alors qu'en surface extérieure elles évoluent en lien avec les consignes. Le profil de température montre une amplitude journalière qui évolue sur l'épaisseur du mur. Elle est limitée sur le tiers de l'épaisseur côté intérieur puis de plus en plus forte vers l'extérieur. Côté intérieur, le gradient de température est faible à négligeable mais toujours négatif, conduisant à un léger flux déperditif. Côté extérieur, la température minimale est atteinte sur la moitié de l'épaisseur du mur à l'heure du changement de consigne, avec un gradient négatif marqué, conduisant à un flux déperditif. Au changement de consigne, la température augmente en surface puis au cœur du mur, le gradient de température et le flux de chaleur s'inversent. L'absorption du flux de chaleur côté extérieur conduit à un stockage avec une augmentation rapide de la température dans les couches extérieures puis différée sur l'épaisseur du mur. Le déphasage entre la surface extérieure

du mur et la profondeur 17.1 cm est d'environ 3h30. De la même façon, le changement de consigne vers la température nuit induit des inversions de gradient de température et de flux de chaleur. Au bilan, le profil montre le stockage et déstockage de chaleur au cours d'une journée non ensoleillée, les deux tiers de l'épaisseur du mur côté extérieur sont actifs.

Le profil de pression de vapeur montre un faisceau croissant de faible amplitude tout au long du cycle sur le tiers de l'épaisseur du mur côté intérieur. Cela conduit à un flux d'humidité du mur vers l'ambiance intérieure. Au sein de l'enduit extérieur, le gradient de pression de vapeur est décroissant de 10 h à 21h conduisant à un flux d'humidité du mur vers l'ambiance extérieure. Le reste du temps, le gradient de Pv et le flux d'humidité s'inversent. Au sein de la paroi, l'évolution de la pression de vapeur n'est pas continue, elle présente des extrêmes (haut et bas) au-delà des valeurs atteintes en surface. Par exemple, à 23.7 cm de profondeur, la pression de vapeur est maximale à 18h00, simultanément à la température maximale à cette position. Ainsi, les extrêmes de pression de vapeur sont très probablement induits par des phénomènes de sorption-désorption. Ils conduisent de plus à des flux d'humidité simultanés dans les deux sens au cœur du mur.

IV. CONCLUSION

Cet article présente l'étude expérimentale de la réponse hygrothermique d'un mur à des climats intérieurs et extérieurs simulés. Le mur est constitué de composite terre-chanvre avec un enduit chanvre-chaux sur la face extérieure et un enduit terre sur la face intérieure. L'étude est réalisée pour des conditions ambiantes constantes côté intérieur et sous le climat estival de Rennes, sans prise en compte d'apports solaires côté extérieur. D'un point de vue thermique, l'inertie apportée par les deux tiers extérieurs du mur conduisent à des flux de chaleur limités avec l'ambiance intérieure. D'un point de vue hygrique, le gradient de pression de vapeur sur le tiers du mur côté intérieur conduit à un flux d'humidité du mur vers l'ambiance intérieure. Les deux tiers du mur côté extérieurs se montrent particulièrement actifs. Des phénomènes de sorption-désorption sont mis en évidence.

IV. REFERENCES

- Amziane. S, Collet. F, Lawrence. M, Picandet. V, Lanos. C, Marceau. S, Pavia. S, 2017, Bio-aggregates Based Building Materials, Springer Netherlands, Amziane Sofiane and Collet Florence, 2017. <http://www.springer.com/la/book/9789402410303> (accessed February 24, 2017).
- Collet. F, Prétot. S, 2014. Experimental highlight of hygrothermal phenomena in hemp concrete wall. Building and Environment. V82 pp 459-466.
- Mazhoud. B, Collet. F, Pretot. S, Lanos. C, 2017, Mechanical properties of hemp-clay and hemp stabilized clay composites, Constr. Build. Mater. 155 1126–1137. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.121>.
- Medjelekh. D, Ulmet. L, Dubois. F, 2017, Characterization of hygrothermal transfers in the unfired earth, Energy Procedia. (139) 487–492. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.242>.
- Palomara. I, Barluengaa. G, Ballb. R.J, Lawrence. M, 2019, Laboratory characterization of brick walls rendered with a pervious lime cement mortar, Journal of Building Engineering. (23) 241-239. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2019.02.001>