

# Etude expérimentale et numérique du comportement d'une paroi en tuffeau isolée en terre-colza

Belayachi Naima<sup>1</sup>, Broard Yoann<sup>2</sup>, Sami Maddouri<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université d'Orléans, Université de Tours, INSA CVL, Laboratoire de Mécanique Gabriel Lamé, Polytech Orléans, 8 rue Léonard De Vinci, 45072 Orléans, France, [naima.belayachi@univ-orleans.fr](mailto:naima.belayachi@univ-orleans.fr)

<sup>2</sup> Université de Tours, Université d'Orléans, INSA CVL, Laboratoire de Mécanique Gabriel Lamé, 7 Avenue Marcel Dassaults BP 40, 37004 Tours, France, [yoann.broard@univ-tours.fr](mailto:yoann.broard@univ-tours.fr)

*RÉSUMÉ.* L'objectif de cette étude est l'évaluation du comportement hydrothermique d'une paroi de tuffeau isolée avec un biocomposite à base de terre et de colza. La paroi multicouche a été considérée pour la mise en évidence d'une réhabilitation énergétique du patrimoine bâti en pierre de tuffeau dans les pays de la Loire. L'étude expérimentale a été menée en utilisant une enceinte climatique permettant d'exposer la paroi tuffeau-isolant aux conditions de température et d'humidité simulant les conditions réelles extérieures et intérieures. Une étude numérique en utilisant le couplage hydrothermique du logiciel WUFI a été menée pour comparer l'effet de différents enduits sur la durée de séchage de l'isolant biosourcés. L'objectif de cette comparaison est de donner une réponse pour la mise en oeuvre de ces isolants sur les chantiers. En effet, les artisans rencontrent des problèmes de délais importants des travaux à cause du séchage lent des isolants pour l'application des enduits de finition. Les résultats ont mis en évidence l'importance du choix de l'enduit pour les isolants à base de végétaux comme les enduits à base de chaux.

*ABSTRACT.* The objective of this study is to evaluate the hygrothermal behaviour of tuffeau limestone wall insulated by a biocomposite based on crude earth and rape straw. The multilayer wall was considered in order to highlight energy rehabilitation of the limestone built heritage in the region (pays de la Loire). An experimental study was also conducted using a climatic chamber to expose the tuffeau-biocomposite wall at temperature and humidity conditions simulations real outdoor and indoor conditions. A numerical study using the hydrothermal coupling of the WUFI software was conducted in order to compare the effect of different coatings on the drying time of the biosourced material. The objective of this comparison is to give an answer for the in site implementation of these biocomposites. Indeed, the artisans encountered problems of important delays of the site works because of the slow drying of the biosourced materials for the application of coatings. The results highlighted the importance of the choice of coating for these insulation materials such as lime-based coating.

*MOTS-CLÉS :* réhabilitation énergétique, terre-colza, comportement hydrothermique, enduit, isolation.

*KEY WORDS:* energy rehabilitation, crude earth-rape straw, hydrothermal behaviour, coating, insulation.

## 1. Introduction

Les matériaux biosourcés ont été identifiés comme une alternative importante dans le secteur du bâtiment pour à la fois diminuer la consommation d'énergie, réduire les émissions de gaz carbonique et l'utilisation des gisements naturels pour produire les granulats. Lorsque ces matériaux sont issus du recyclage ou de co-produits de ressources locales, ils s'inscrivent aussi dans une démarche d'économie circulaires spécifique à chaque territoire en créant de nouvelles filières économiques en fonction des ressources présentes dans ce même territoire. Le recours à ces matériaux est au cœur des actions et mesures d'une démarche de développement durable pour diminuer l'impact du secteur du bâtiment de la production des matériaux et jusqu'à son exploitation. En France, la priorité a été donnée à la rénovation énergétique des bâtiments existants identifiée comme une action ayant le plus fort impact en termes de limitation de gaz à effet de serre. C'est ainsi qu'un objectif de rénovation de 500000 logements par an a été mis en place pour atteindre en 2020 une réduction de 38%. Plusieurs études ont montré que l'utilisation des matériaux biosourcés ou locaux dans la construction de l'habitat en considérant une analyse de cycle de vie globale réduit drastiquement l'énergie du bâtiment [MOR 01] [COR 16].

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est d'évaluer d'un côté la performance d'une isolation par intérieur avec une solution proposée avec un ensemble : mur en pierre/isolant/enduit, et d'un autre côté d'évaluer l'impact de la mise en œuvre d'un enduit de finition/protection sur la durée de séchage de l'isolant. En effet une des difficultés rencontrées pour l'utilisation des matériaux à base de végétaux et clairement identifiée par les artisans est liée à leur temps de séchage lent qui engendre des délais de travaux et d'application de l'enduit de finition très importants avec des risques d'apparition de moisissures. Dans le contexte du projet BIOCOMP, ce travail a été réalisé pour répondre à cette problématique et proposer des indications de mise en œuvre basée sur une étude et une compréhension du comportement de la paroi multicouche (tuffeau/isolant/enduit). Une investigation expérimentale du transfert hygrothermique de la paroi a été réalisée en utilisant une enceinte climatique (Thermo 3) permettant d'imposer des conditions d'humidité et de température intérieures et extérieures sur les deux faces de la paroi. Une étude numérique en utilisant le logiciel WUFI a été également réalisée pour évaluer la durée de séchage de différents types d'enduits et les comparer avec celui qui sera réellement utilisé pour la finition des isolants terre colza qui est un enduit à base d'argile. Cette comparaison a mis en évidence l'effet significatif de l'enduit de finition en terme de régulation de l'humidité et de l'importance d'un enduit à base de terre et de chaux par rapport aux enduits à base de ciment.

## 2. Matériaux et méthodes

En vue de l'évaluation du comportement hygrothermique d'une paroi, une étude expérimentale a été menée sur un paroi composée d'une maçonnerie en tuffeau et un isolant de terre-colza. Le tuffeau blanc est une pierre calcaire largement utilisée pour la construction des bâtiments dans les pays de Loire et en particulier en sud Touraine qui est le territoire d'étude du projet BIOCOMP. En ce qui concerne l'isolant, le biocomposite (Terre colza désigné par RSD5) considéré pour cette étude a été développé et caractérisé dans le cadre du projet BIOCOMP [BRO 18]. La conductivité thermique du biocomposite (terre-colza) est similaire au résultat de la littérature avec un mélange de terre paille qui a une masse volumique plus faible [LAB 16]. Afin de respecter le protocole d'optimisation utilisé au laboratoire, la paille de colza broyée a été introduite après 10 minutes du mélange eau-terre. Le biocomposite terre-colza a été appliqué par banchage et compactage à la main à coté de la maçonnerie de tuffeau. Le choix d'utiliser une paroi de tuffeau isolée par intérieur par cet isolant (Figure 1) est motivé par la mise en évidence d'une réhabilitation énergétique intérieure possible par intérieur des bâtiments en tuffeau dans la région Centre Val de Loire.

### 2.1 Préparation de la paroi

La paroi de tuffeau-isolant utilisée pour l'étude a été préparé avec une taille de 120 x 120 cm et une épaisseur de 30 cm (20 cm de tuffeau et 10 cm d'isolant terre-colza) comme le montre la Figure 1. Ces dimensions ont été choisies pour mesurer le flux de chaleur sur une fenêtre de mesure de 80x80 cm de la chambre climatique 3R [MAD 18]. Un colmatage avec un isolant en fibre de bois des fissures induites par le séchage de l'isolant a été réalisé pour éviter les déperditions thermiques (Figure 1 à droite).



**Figure 1.** Tuffeau maçonné à la chaux isolée avec un biocomposite terre-colza.

La paroi multicouche a été mise en place dans l'enceinte climatique de type Thermo3 comme le montre la figure 2. La paroi (tuffeau-biocomposite) est exposée à deux chambres chaude et froide des deux coté simulant

respectivement l'intérieur et l'extérieur. La comparaison du flux de chaleur expérimental et numérique a été réalisée pour une différence de température de 25°C entre les façades de la paroi et une humidité imposée dans la chambre chaude de 66 % et 68%. Cette comparaison a permis après plusieurs calculs à trouver un jeu de paramètres pour réaliser les calculs de simulations avec les différents enduits pour évaluer la durée de séchage avec des conditions d'humidités plus importante de 95 %. Le tableau 1 présente quelques paramètres des deux matériaux utilisés dans cette étude. Les temps de stabilisation du flux ont été très long pour l'expérimentation.



**Figure 2.** Paroi de tuffeau-terre-colza dans la chambre climatique.

**Tableau 1.** Paramètres des matériaux utilisés pour l'étude de la paroi.

Matériau	Densité (Kg/m <sup>3</sup> )	Porosité (%)	Chaleur Spécifique (J/Kg.k)	Conductivité thermique (W/m.k)	Epaisseur (mm)
RSD5	300	77	1300	0.1	100
Tuffeau	1310	48	650	0.48	200

## 2.2 Simulation numérique :

Les simulations numériques du comportement hygrothermique de la paroi multicouche ont été réalisés avec le couplage proposé par Künzel dans le logiciel WUFI permettant de prendre en compte la variation des paramètres en fonction de la teneur en eau ou l'humidité relative. La paroi multicouche est étudiée avec des conditions aux limites de température et d'humidité simulant l'intérieur et l'extérieur. Deux cas ont été considérés dans cette étude, le premier sans enduit pour caler les paramètres des matériaux en utilisant la comparaison du flux de chaleur expérimental et numérique au sein de l'isolant. Le deuxième cas avec enduit pour évaluer la durée du séchage (Figure 3). Les conditions initiales de température et d'humidités ont été mesurées à l'aide d'une sonde introduite au sein du biocomposite. Afin d'étudier l'effet de l'enduit de finition, quatre types d'enduits ont été utilisés pour la simulation numérique, enduit à base d'argile, enduit à la chaux, enduit chaux-ciment (bâtard) et enduit de ciment. Un scénario d'un temps pluvieux suivi par un temps ensoleillé a été adopté avec respectivement une humidité de 95% et température de 5° et une humidité de 60 % et température de 30°. La détermination de la durée de séchage est basée sur les résultats de mesures de la sonde et la courbe de sorption désorption du biocomposite. Le temps de séchage est pris égale à la durée nécessaire pour passer de 65% à 55%. L'humidité de 65 % est la valeur relevée de la sonde après deux mois de de la fabrication de la paroi. La teneur en eau est estimée à partir de la courbe de sorption désorption du mélange terre-colza.



Figure 3. Modélisation de la paroi multicouche avec le logiciel WUFI et conditions aux limites.

### 3. Résultats et discussion

Un exemple de courbes du flux de chaleur expérimental et numérique est donné sur la figure 4. Cette concordance a permis de valider le jeu de paramètres du tableau 1 pour les simulations suivantes avec différents enduits.

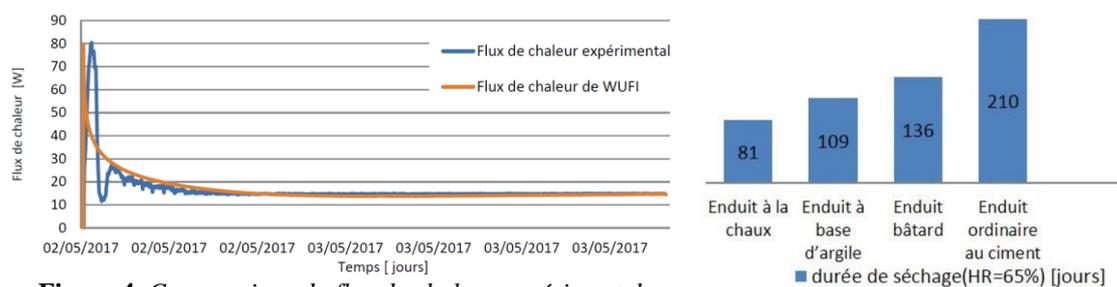


Figure 4. Comparaison du flux de chaleur expérimental et numérique (à gauche), durée de séchage de l'isolant (à droite)

La durée de séchage est différente d'un enduit à un autre (Figure 5) et dépend fortement des propriétés de transfert hydrique (résistance à la diffusion de vapeur). Plus l'enduit admet une diffusion de vapeur importante plus l'évacuation de la vapeur présente dans l'isolant sera facile et donc la durée de séchage sera faible. L'enduit de finition à base de chaux permettant d'aboutir à une évacuation plus rapide de l'humidité de la paroi sera à privilégier par rapports aux enduits de ciment. Le choix de l'enduit est très important pour les isolants biosourcés pour diminuer le temps de séchage et éviter l'apparition de moisissures.

### 4. Bibliographie

- [BRO 18] Broard, Y., Belayachi, N., Hoxha, D., Naraynaswami, R., Méo, S., « Mechanical and hygrothermal behavior of clay-sunflower and rape straw plaster bio-composites for building insulation ». *Construction and Building Materials*, 2018, 161, p.196–207.
- [COR 16] Corrado, C., Serra, V. & Dutto, M., « An integrated design approach to development of a vegetal based thermal plaster for buildings energy retrofit ». *Energy & Buildings*, 2016, 124, p.46–59.
- [LAB 16] Madrid, M., Orbe, A., Carré, H., Garcia, Y., « Thermal performance of sawdust and lime-mud concrete masonry units ». *Construction and building materials*, 2018, 169, pp.113–123.
- [MAD 18] Labat, M. et al., « From the experimental characterization of the hygrothermal properties of straw-clay mixtures to the numerical assessment of their buffering potential ». *Building and Environment*, 2016, 97, pp.69–81.
- [MOR 01] Morel, J.C. et al., « Building houses with local materials: Means to drastically reduce the environmental impact of construction ». *Building and Environment*, 36(10), p.1119–1126.