

# Évaluation du comportement hygrothermique d'une paroi à ossature bois / isolation paille en climat océanique tempéré : approches expérimentale et numérique

Marwan ASSAF<sup>1</sup>, Franck BRACHELET<sup>1</sup>, Pierre TITTELEIN<sup>1</sup>, Didier DEFER<sup>1</sup>, Emmanuel ANTCZAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ. Artois, IMT Nord Europe, Junia, Univ. Lille, ULR 4515, Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement (LGcE), F-62400 Béthune, France

## CONTEXTE & OBJECTIFS

Cette étude analyse la façade sud d'un bâtiment à ossature bois isolé par des bottes de paille, situé dans le Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale. Des capteurs de flux, température et humidité ont été installés pour suivre les propriétés thermiques et le comportement hygrothermique de la paroi sur une période de 41 mois, afin de refléter les variations climatiques saisonnières. Des simulations thermiques dynamiques ont également été réalisées avec le logiciel WUFI 2D, en intégrant les caractéristiques des matériaux et les conditions micro-climatiques mesurées in-situ. L'objectif est de valider le modèle numérique tout en montrant une bonne concordance avec les mesures in-situ, en mettant en évidence l'absence de condensation et de risques de croissance de moisissures. Afin de mener des études sur le comportement hygrothermique de ce type de paroi sous différents climats et scénarios d'occupation.

## APPROCHES EXPÉRIMENTALE & NUMÉRIQUE

### Composition de la paroi et Instrumentation

Une instrumentation a été menée pour prendre des mesures de flux, température et humidité relative avec un pas de temps de 5 minutes pour assurer un suivi minutieux de l'évolution des paramètres. Les mesures ont porté sur une période de 41 mois (de juillet 2020 à novembre 2023).

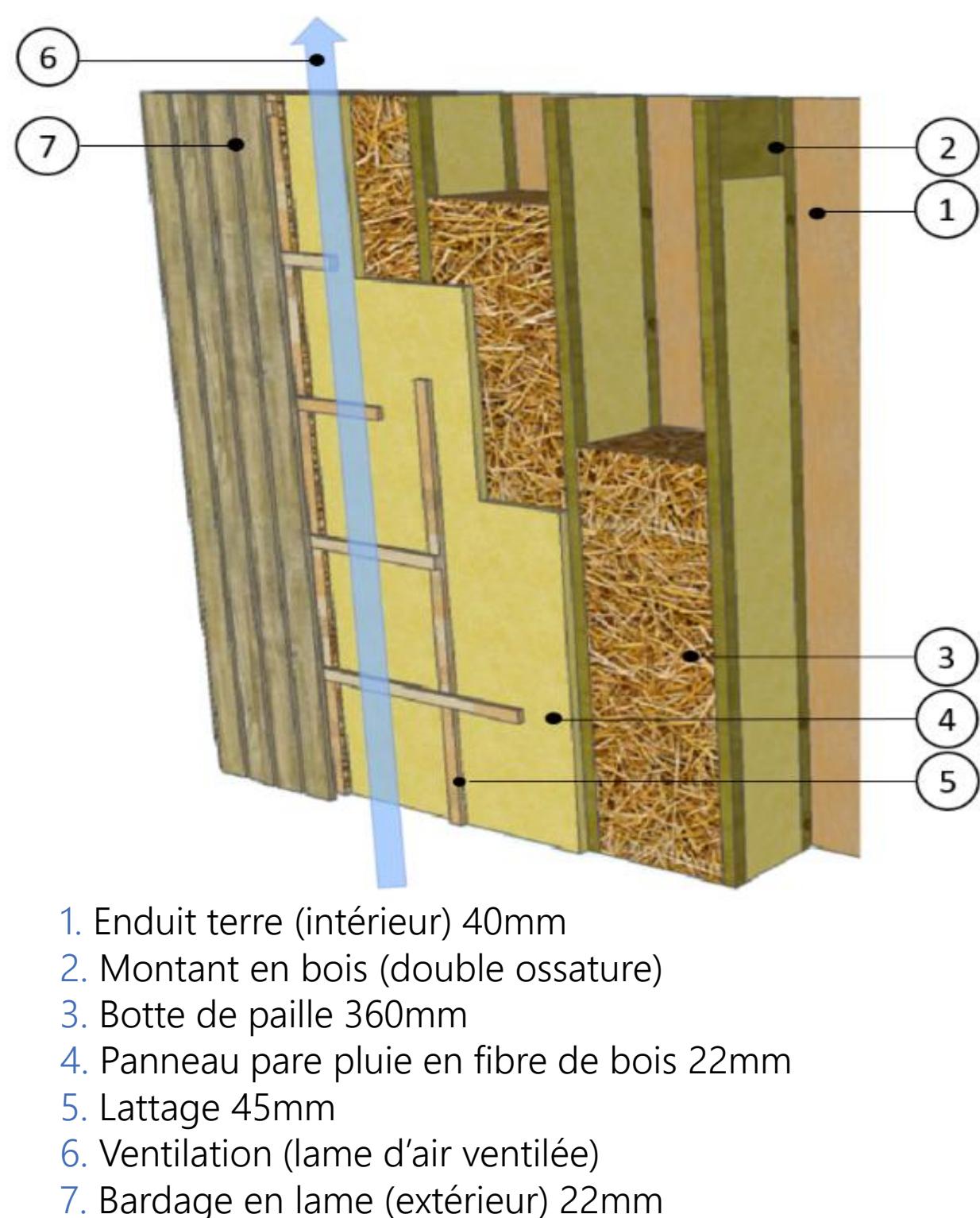


FIG. 1. Composition de la paroi

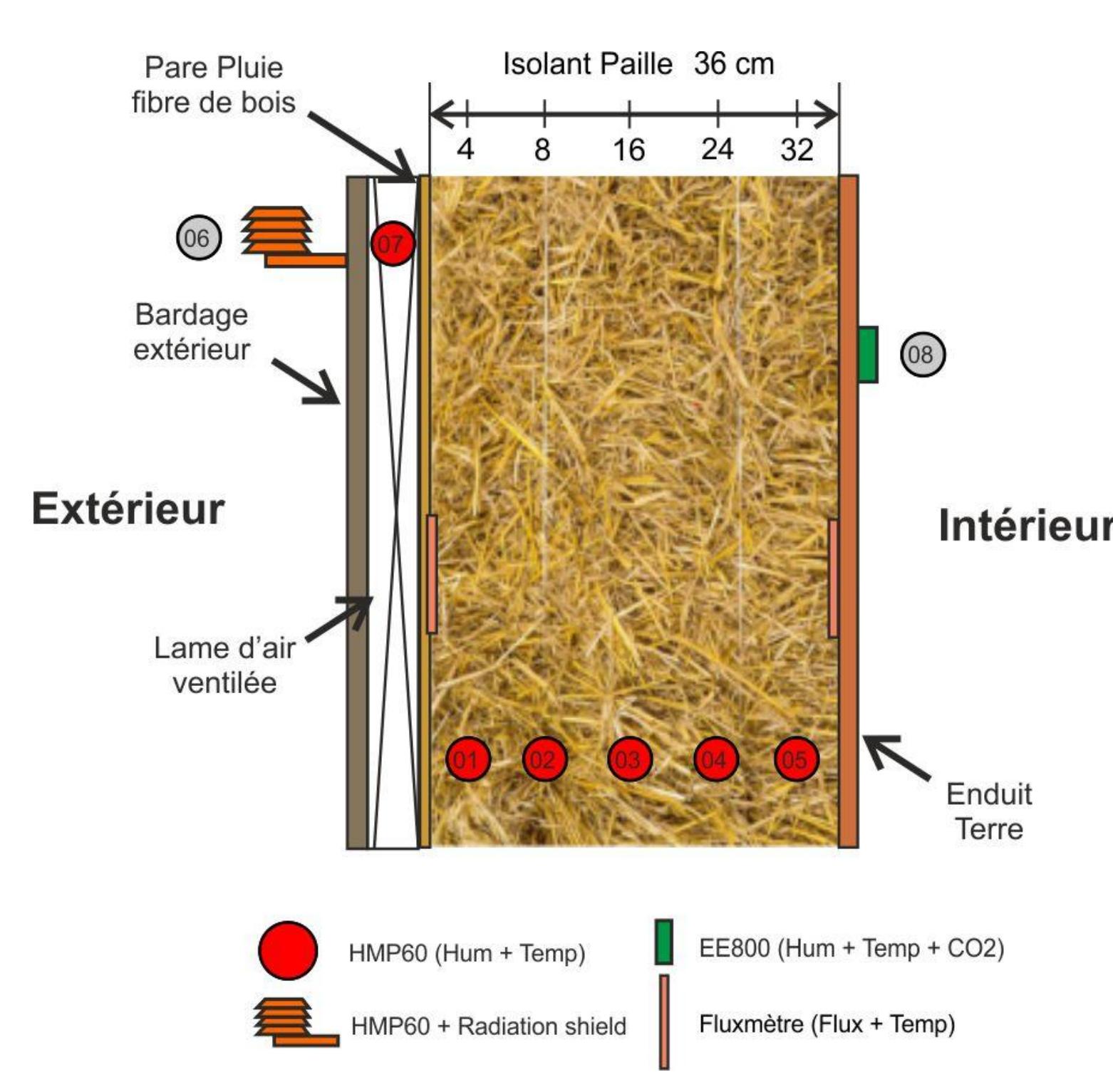


FIG. 2. Emplacement des capteurs

## RÉSULTATS & DISCUSSION

### Comparaison entre expérimentale et numérique

La variation de la moyenne journalière de la température et de l'humidité relative entre les résultats simulés et les mesures expérimentaux sont présentées ci-dessous dans la FIGURE 3. à la position 01 dans la paille sur l'année de 2021. Les courbes présentent une bonne adéquation entre les résultats simulés et les mesurées.

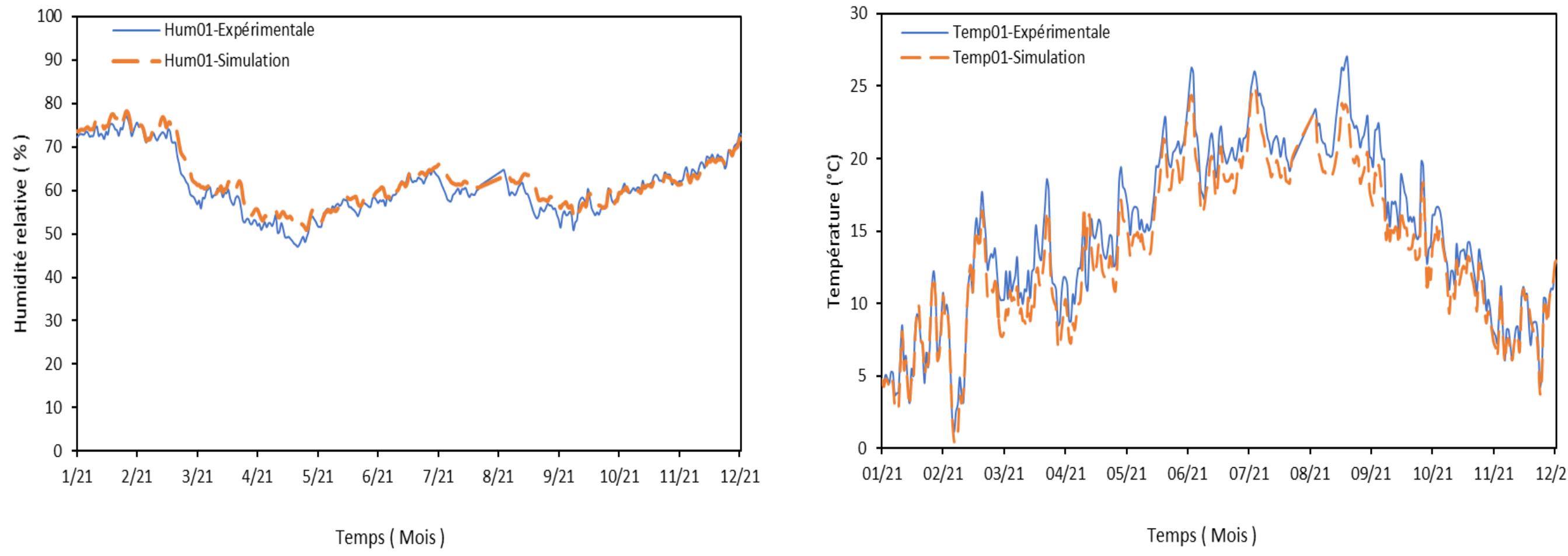


FIG. 3. Variation moyenne journalière de (à gauche) l'humidité relative – (à droite) la température sur 1 an dans la paille (point 01) : résultats expérimentaux et simulés dans WUFI 2D sur l'année de 2021

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta e_i - \Delta n_i)^2}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta e_i - \Delta n_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\Delta e_i - \bar{\Delta e}_i)^2}$$

Afin de juger plus précisément la précision du modèle, une analyse par régression est effectuée en calculant l'erreur quadratique moyenne (RMSE) et le coefficient de détermination ( $R^2$ ). Par conséquent les RMSE et  $R^2$  de la température sont respectivement 1,59 °C et 0,97, tandis que celles de l'humidité relative sont 2,3 % et 0,92.

### Modélisation numérique

Des simulations numériques ont été effectuées avec le logiciel WUFI 2D afin de vérifier l'adéquation entre les résultats expérimentaux et la modélisation. Ce logiciel permet à la fois de calculer les transferts couplés de chaleur, d'eau sous forme liquide et de vapeur en utilisant le modèle de Künzel :

$$\frac{\partial H}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla (\lambda \nabla T) + h_v \nabla (\delta_p \nabla (\varphi P_{sat})) \quad \frac{\partial w}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \nabla (D_\varphi \nabla \varphi + \delta_p \nabla (\varphi P_{sat}))$$

Matériaux	Epaisseur (mm)	Conductivité thermique (W/m.K)	Masse volumique apparente (kg/m³)	Chaleur spécifique (J/kg.K)	Porosité (m³/m³)	Résistance à la diffusion de vapeur d'eau (-)
Enduit terre	40	0.59	1514	1000	0.42	11
Paille	360	0.046–0.088	80	1800	0.9	2
Panneau pare pluie fibre de bois rigide	22	0.51	289	2100	0.75	4.4
Lame d'air ventilée	45					
Bardage Bois/Résineux	22	0.09	400	1400	0.73	200

TABLEAU 1. Paramètres insérés dans la base de données de WUFI

Cette modélisation repose sur des données issues en partie de l'analyse thermique des matériaux effectuée en laboratoire par Douzane et al. (2016), qui ont travaillé sur la paille de blé présentant une densité, une épaisseur et une orientation des fibres identiques à celles examinées. Quant aux autres, les valeurs ont été choisies à partir de la base de données WUFI pour le matériau correspondant, comme mentionné dans le TABLEAU 1.

### Évaluation du risque de croissance de moisissures

Le risque de croissance qui dépendant à la fois de la dynamique de température et temps; a été analysé à l'aide du diagramme d'Isoplèthes, qui représente l'humidité relative en fonction de la température. Les résultats montrent que les courbes ne dépassent la LIM I que dans un seul cas, s'étendant sur sept heures à une humidité maximale de 77 % HR.

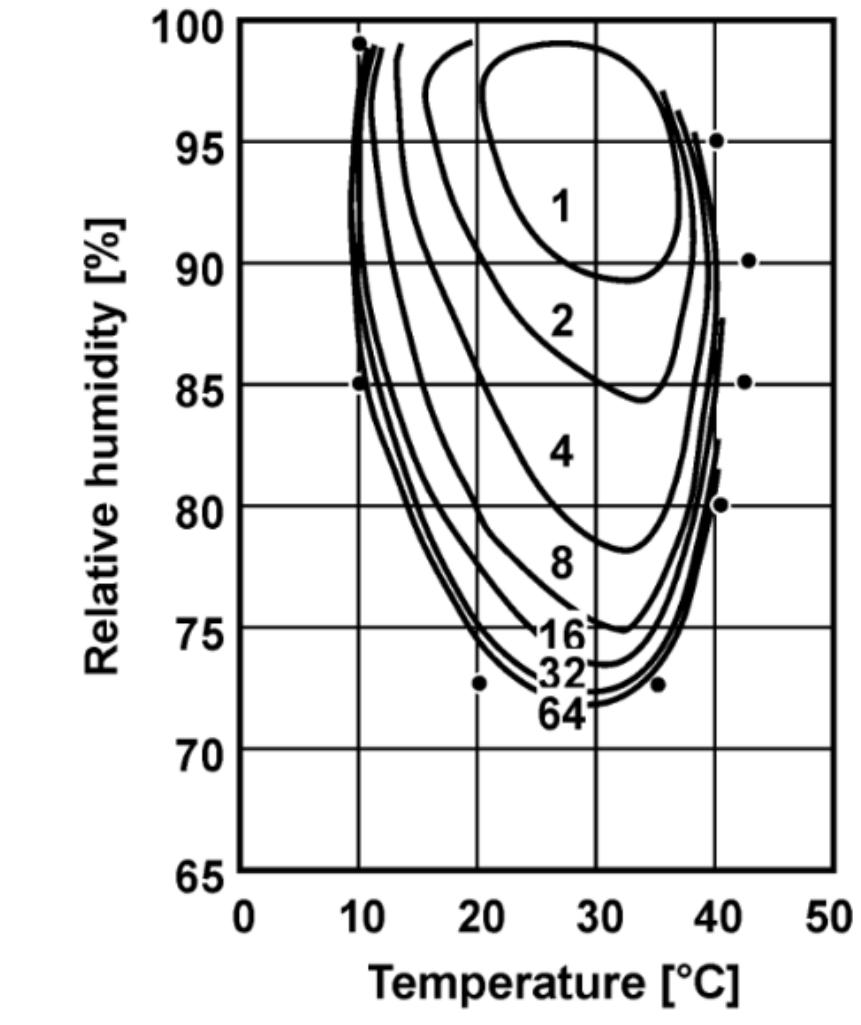
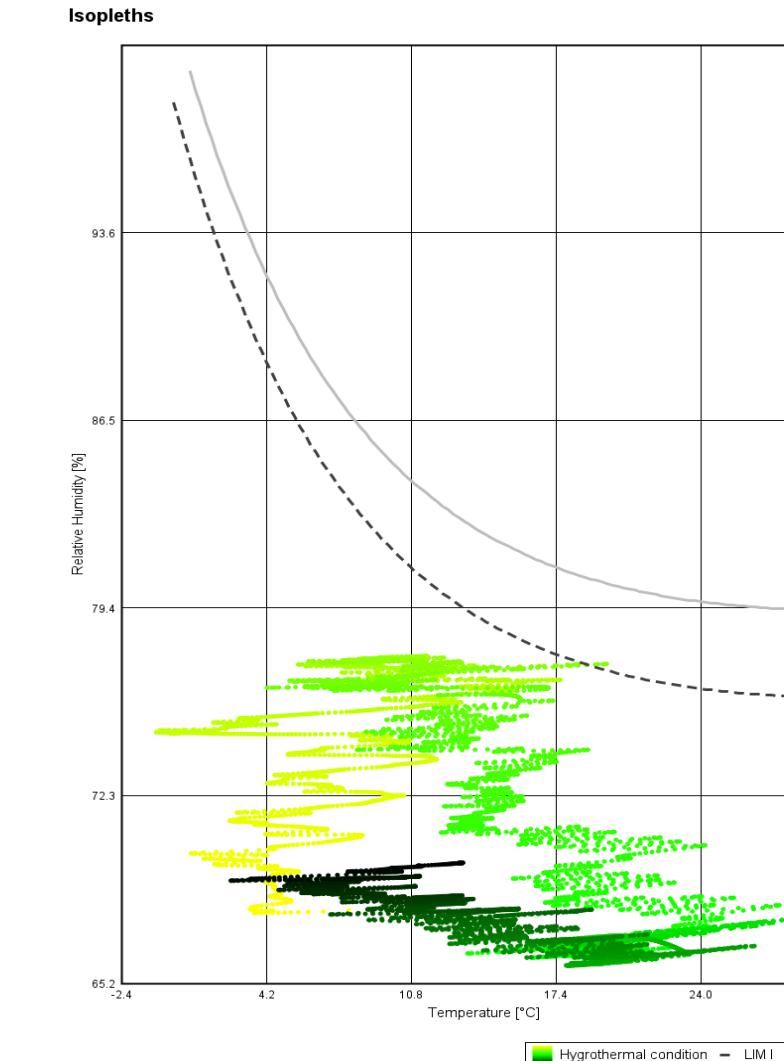


FIG. 4. (À gauche) L'isoplèthes pour la position 01 par heure en 2021- (à droite) temps (jour) requis de germination des spores des moisissures Aspergillus restrictus

Pour savoir si ces conditions ont permis le développement fongique, les données ont été comparées à un système d'isoplèthes. Les résultats ont montré que les conditions requises pour la croissance des microorganismes ne sont pas satisfaites.

## CONCLUSION & PERSPECTIVES

Les résultats expérimentaux et numériques concordent, montrant un comportement favorable et une durabilité sans condensation ni microorganismes, même sans pare-vapeur. Cela encourage la construction de telles parois dans des régions à climat océanique tempéré, où les matériaux bio et agro-sourcés sont disponibles. Le bon accord entre les résultats de WUFI et les mesures expérimentales ouvre la voie à des recherches supplémentaires sur le comportement hygrothermique de ces parois dans divers climats et scénarios d'occupation.