

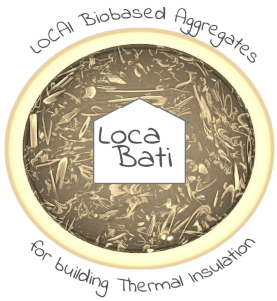
JOURNEE DE RESTITUTION DU PROJET LOCABATI

2 juin 2026, Champs-Sur-Marne

Focus hygrothermique

Machhour El Assaad, Univ. Bretagne Sud
Thibaut Colinart, Univ. Bretagne Sud
Thibaut Lecompte, Univ. Bretagne Sud





Terre allégée [1]



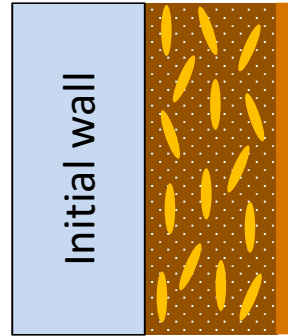
Barbotine

Chènevotte

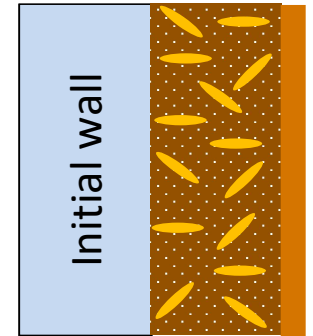


- ❖ Poreux, hygroscopique
- ❖ Perméable à la vapeur d'eau
- ❖ Hétérogène à l'échelle locale
- ❖ Non isotrope

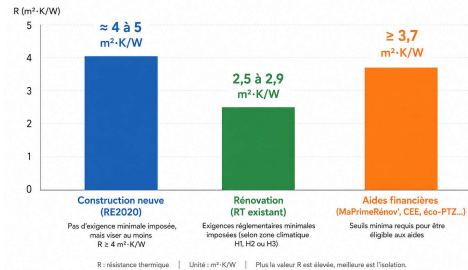
Projection



Banchage



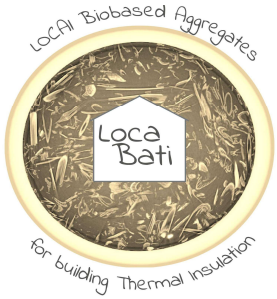
RÉSISTANCE THERMIQUE MINIMALE DES MURS (R)
Réglementation & Aides financières en France (2026)



Conductivité thermique des matériaux

Conductance thermique des parois

[1] Colinart et al., Hygrothermal properties of light-earth building materials, J. Build. Eng., 2020



Conductivité thermique (1/3)



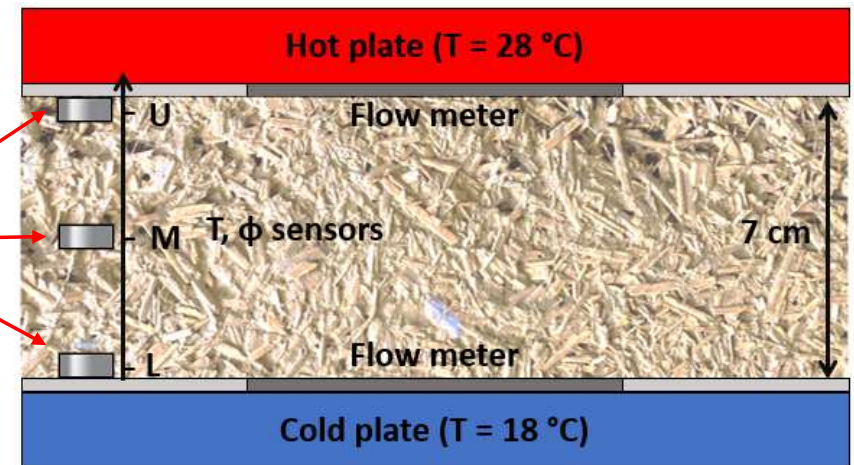
- ✓ Acermi : 10 °C état sec
- ✗ Requis pour T [0 - 50 °C] et HR [30 - 90 %]
- ✗ Méthodes transitoires pas adaptées [2]

- ✓ Méthode HFM
- ❖ Critère d'équilibre : $\Delta\lambda/\lambda < 0,1\%$ sur 1,5h

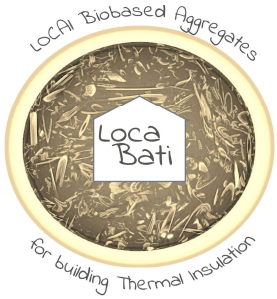


Matériau : terre allégée (70 mm d'épais, densité : 260 kg.m⁻³)

1. Preconditionnement à 23°C and $\phi = 0, 50, 80, 90\%$
2. Instrumentation avec capteurs sans fil (Waranet)
3. Etanchéité avec film alimentaire imperméable
4. Mesure de la conductivité thermique avec HFM



[2] Colinart et al., Thermal conductivity of biobased insulation building materials measured by hot disk: Possibilities and recommendation, J. Build. Eng 3 2021



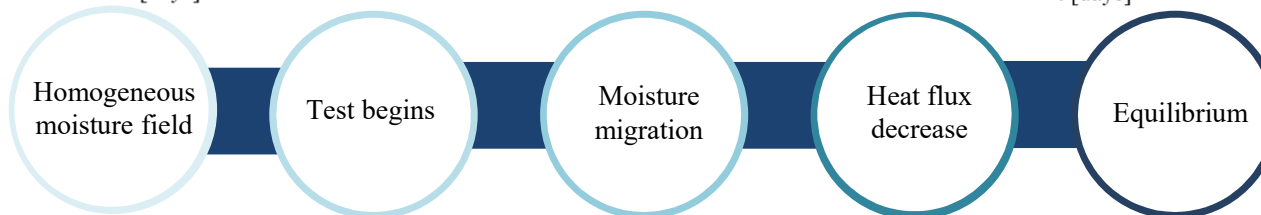
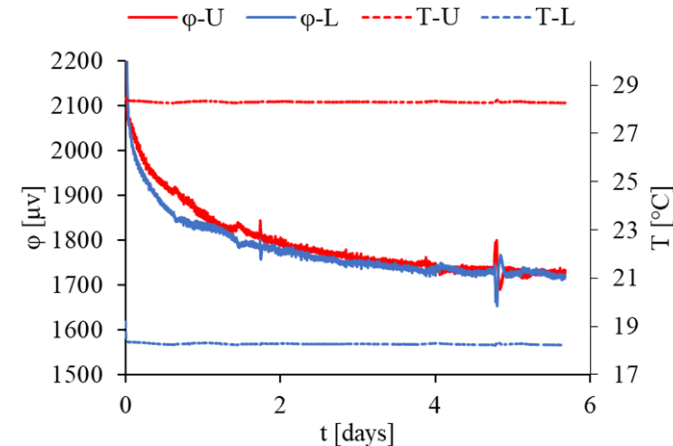
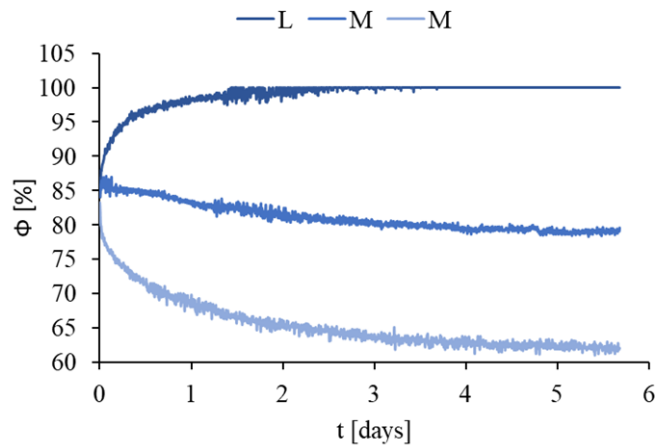
Conductivité thermique (2/3)

Echantillon conditionné à $T = 23 \text{ °C}$ et $\Phi = 80 \text{ \%rh}$

❖ Redistribution de l'humidité au cours de l'essai

❖ Transfert de chaleur sous forme latente

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(\lambda \nabla T) + h_v \nabla(\delta \nabla p_v)$$



[3] El Assaad et al., Thermal conductivity assessment of moist building insulation material using a Heat Flow Meter apparatus, *Build. Env.*, 2023

[4] El Assaad et al., Influence of moisture transfer on thermal conductivity measurement by HFM, *Energy and Buildings*, 2024

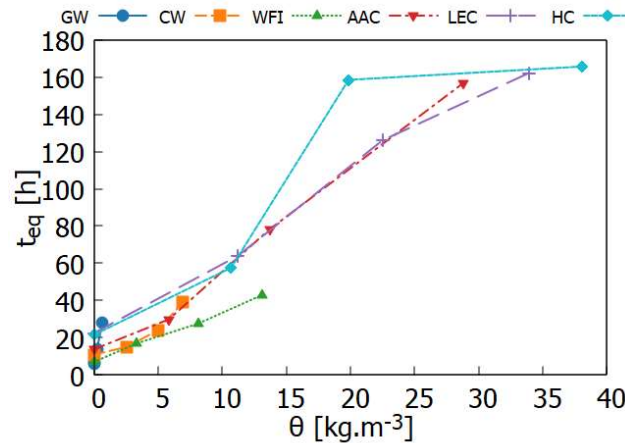
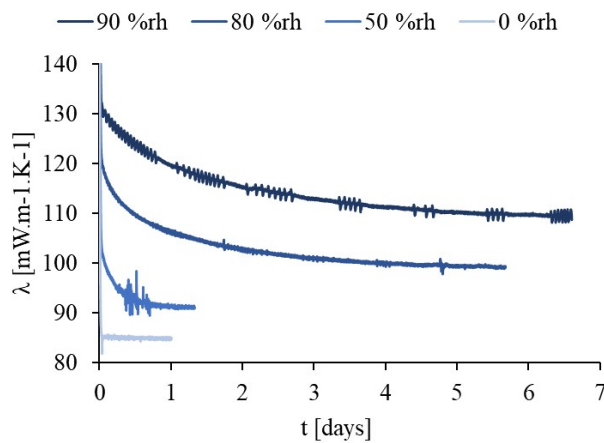


Conductivité thermique (3/3)



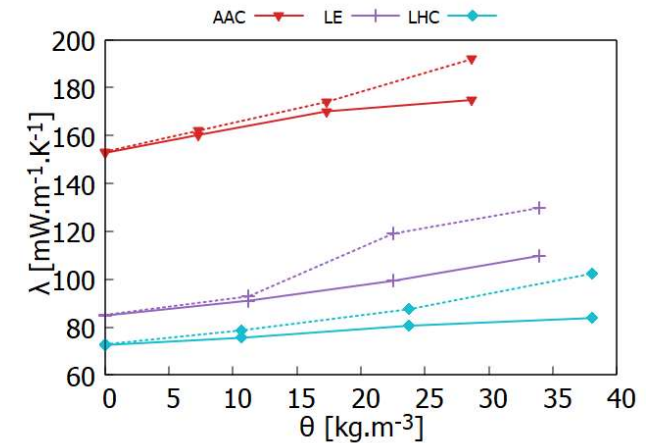
Résultats

- ❖ λ et t_{eq} \uparrow quand HR \uparrow
(tendance confirmée sur d'autres matériaux [3][4])



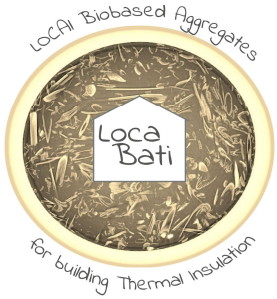
Conséquences

- ❖ Erreur jusqu'à 20 % sur λ
(voire 50 % sur d'autres matériaux [3][4])



[3] El Assaad et al., Thermal conductivity assessment of moist building insulation material using a Heat Flow Meter apparatus, *Build. Env.*, 2023

[4] El Assaad et al., Influence of moisture transfer on thermal conductivity measurement by HFM, *Energy and Buildings*, 2024



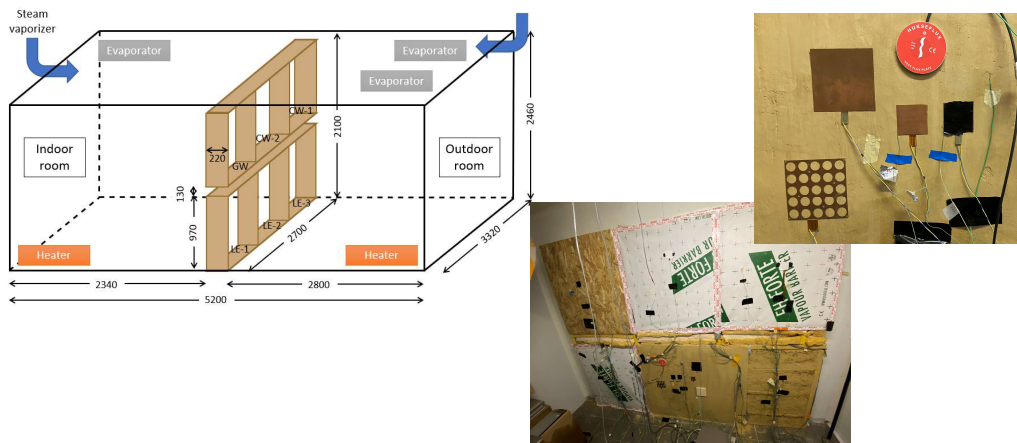
Conductance thermique (1/3)



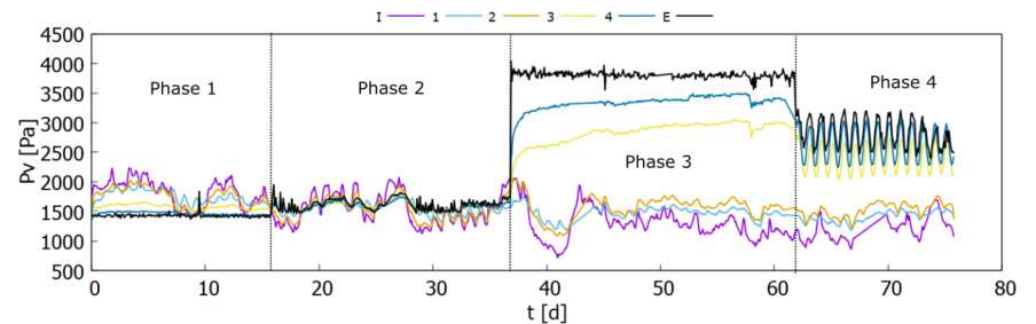
- ✓ Mesure de la conductance thermique d'une paroi par la méthode fluxmétrique (Norme ISO 9869-1)
- ✗ Application sur des parois ouvertes aux transferts d'humidité ?

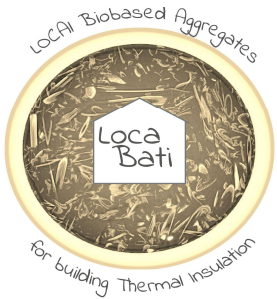
Parois en terre allégée (projetée) avec différentes couches de finition

- ❖ Tests en enceinte biclimatique ($\Delta T > 10 \text{ °C}$ et Δp_v variable)
- ❖ Instrumentation avec plusieurs fluxmètres



0.368 W.m ⁻² .K ⁻¹ 0.77 m	0.352 W.m ⁻² .K ⁻¹ 0.95 m	0.368 W.m ⁻² .K ⁻¹ 2.85 m
--	--	--

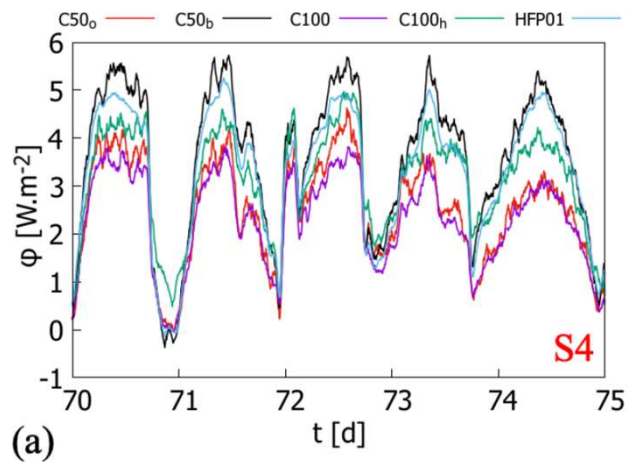




Conductance thermique (2/3)

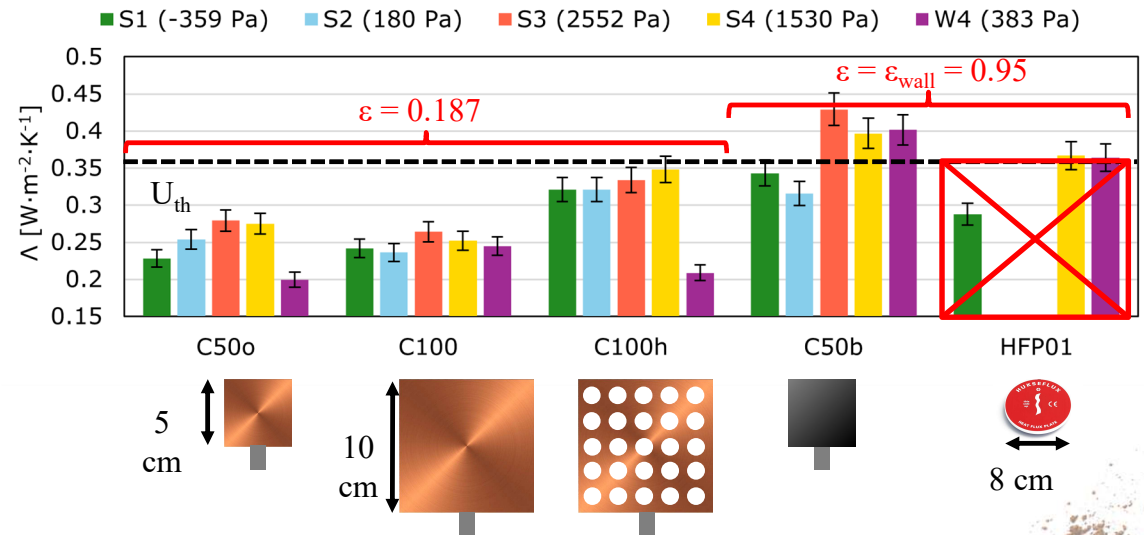
Mesure de flux fonction

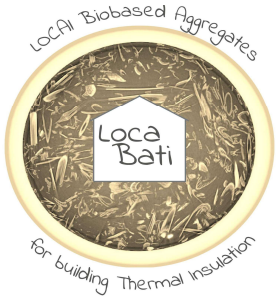
- ❖ De la taille
- ❖ Du design
- ❖ De l'émissivité



$$\text{Conductance } \Lambda = \frac{\sum_{j=1}^n \varphi_j}{\sum_{j=1}^n (T_{soj} - T_{sij})}$$

- ❖ Evolution avec Δp_v variable
- ❖ Influence du fluxmètre (émissivité, perméabilité)





Conductance thermique (3/3)



Interprétation des résultats par simulation numérique

- ❖ Effet barrière du fluxmètre sur les transferts d'humidité
- ❖ Influence sur les échanges latents

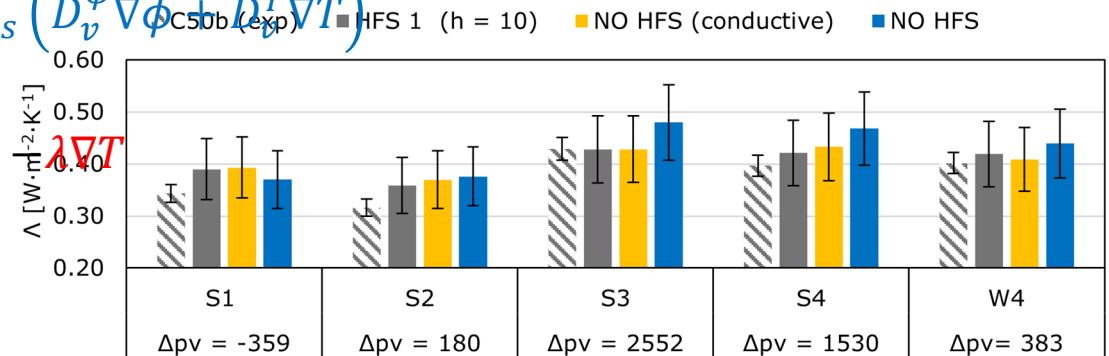
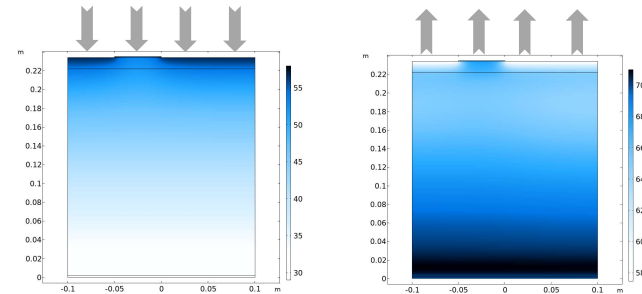
- Pas de fluxmètre : $\Lambda \uparrow$ quand $\Delta p_v \uparrow$

$$\phi = -\lambda \nabla T + \Delta H_s \left(D_v^{\phi} \nabla \phi + D_v^T \nabla T \right)$$

- Fluxmètre mesure la part conductive

$$\phi = \lambda \nabla T$$

- ❖ Solution moins intrusive : fluxmètre à trou de même émissivité que la paroi





Conclusions



Mesure de la conductivité thermique de la terre allégée humide

- ❖ Erreur jusqu'à 20 % sur λ si régime permanent pas atteint
- ❖ Erreur d'environ 6 % sur les flux thermiques d'une paroi [4]
- ❖ Mesure à plus haute humidité (comportement au séchage)

Mesure de la conductance thermique de parois multicouches ouvertes à la vapeur

- ❖ Influence du fluxmètre sur les échanges latents
- ❖ Erreur jusqu'à 10 % induite par le fluxmètre sur la conductance thermique d'une paroi [5]
- ❖ Généraliser l'approche et développement de mesure moins intrusive

[4] El Assaad et al., Influence of moisture transfer on thermal conductivity measurement by HFM, Energy and Buildings, 2024

[5] El Assaad et al., Influence of Heat Flow Meter sensor type on the thermal conductance measured in presence of vapor flow, Energy and Buildings, 2026