



JOURNEES NATIONALES
MACONNERIE

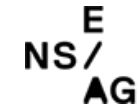
5ème édition – Bordeaux

12 et 13 Juin 2025



Projet B2M : Propriétés hygrothermiques des briques de terre crue

MAILLARD, P., OUBRAHIM, I., AL HAFFAR, N., PINEL, A.

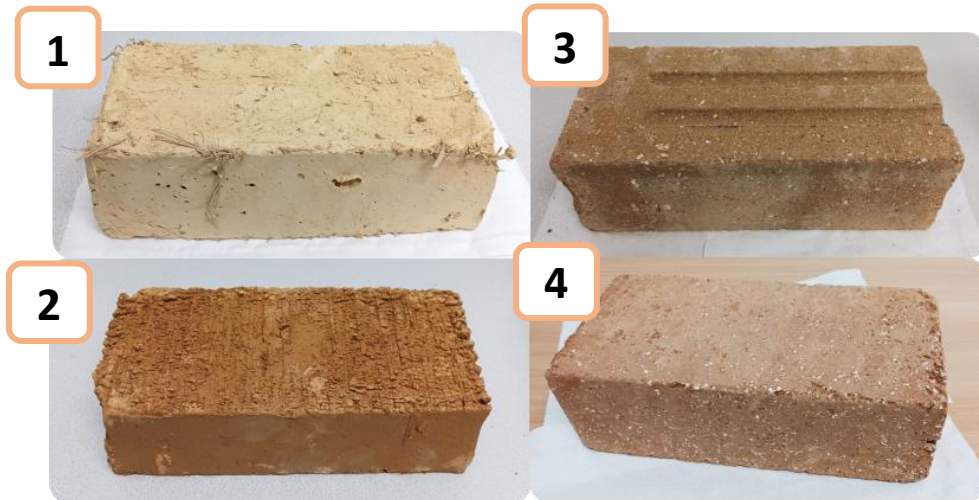


Ce projet a été financé par le Gouvernement dans le cadre du plan France2030 opéré par l'ADEME



Contexte et objectifs

- Projet B2M (**B**riques – **M**ortiers – **M**açonneries) : AAP SIC de l'ADEME
- Caractérisation de la terre, du mortier, de la **brique**, du muret et du mur
- 3 axes : **hygrothermique**, mécanique, feu
- 4 références de brique (non adjuvantées/ non stabilisées), 3 procédés de fabrication



1 – **BTM**, brique moulée

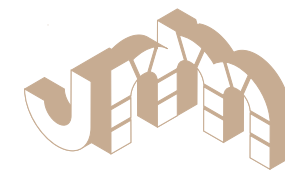
2 – **BTE**, brique extrudée

3 – **BT*C*i**, brique compressée industrielle

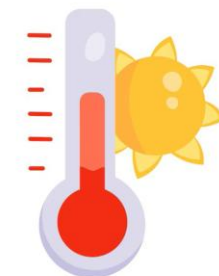
4 – **BT*C*a**, brique compressée artisanale



Propriétés hygrothermiques : les essais



- Sorption hygroscopique – NF EN ISO 12571
- Perméabilité à la vapeur d'eau – NF EN ISO 12572
- Absorption capillaire – NF EN 772-11
- Moisture Buffer Value (MBV) « *Tampon hydrique* »
- Conductivité thermique : fil chaud **et** fluxmètre

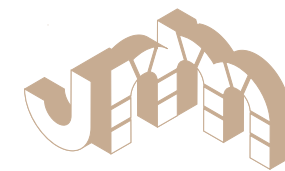


Tester et analyser les protocoles

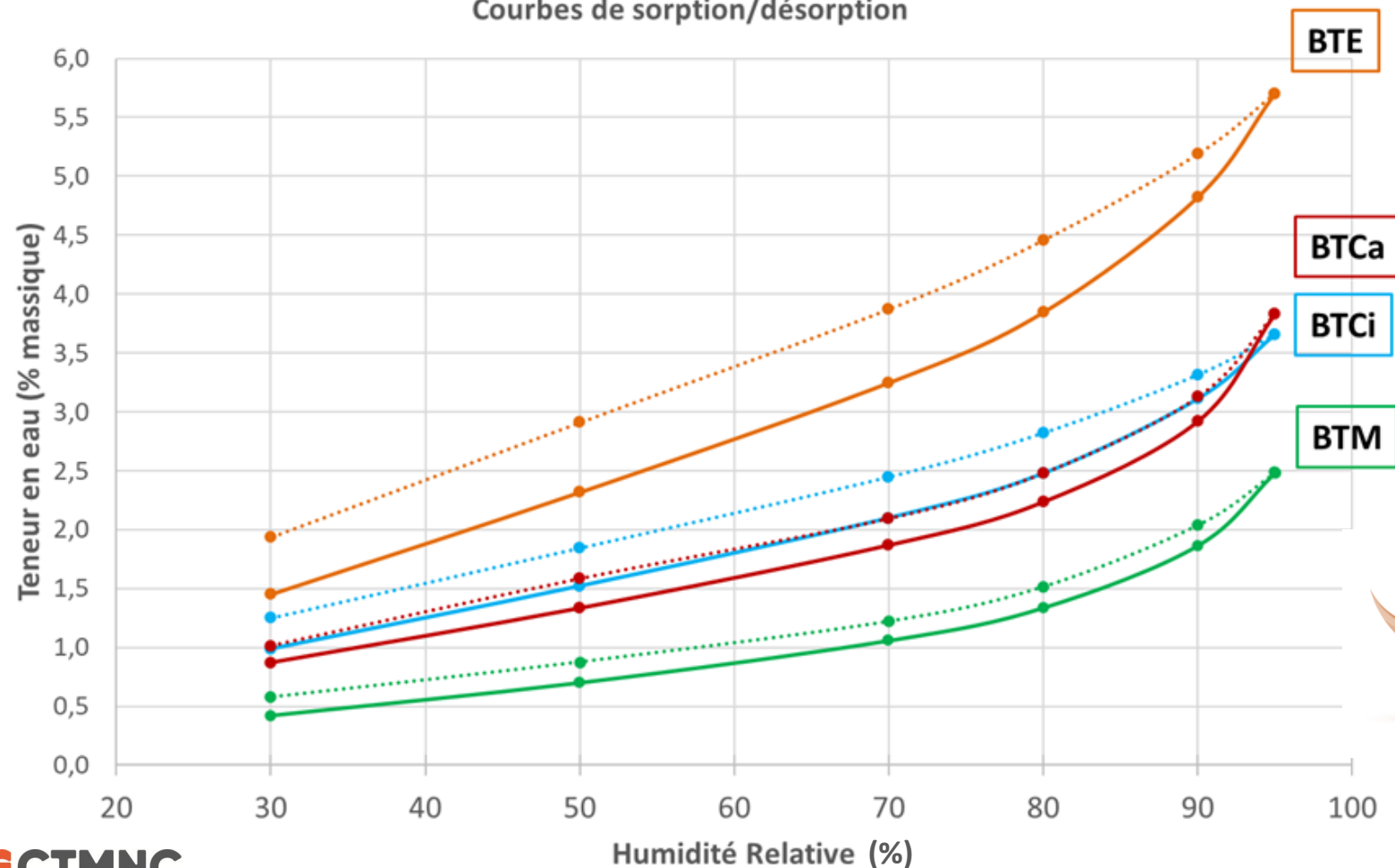


- Protocoles adaptés à la terre crue
- Protocoles à adapter ou à créer
- Eprouvettes découpées à l'état sec : manipulation délicate
- Essais réalisés en doublon (CTMNC – CSTB)
 - Vérifier la reproductibilité d'un protocole
 - Comparer les méthodes de préparation des échantillons (découpe, surface)
 - Comparer les appareils et méthodes (enceinte climatique, fluxmètre...)


Sorption hygroscopique (CTMNC)



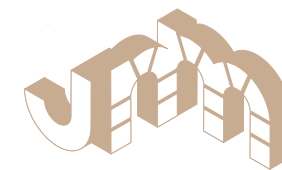
Courbes de sorption/désorption



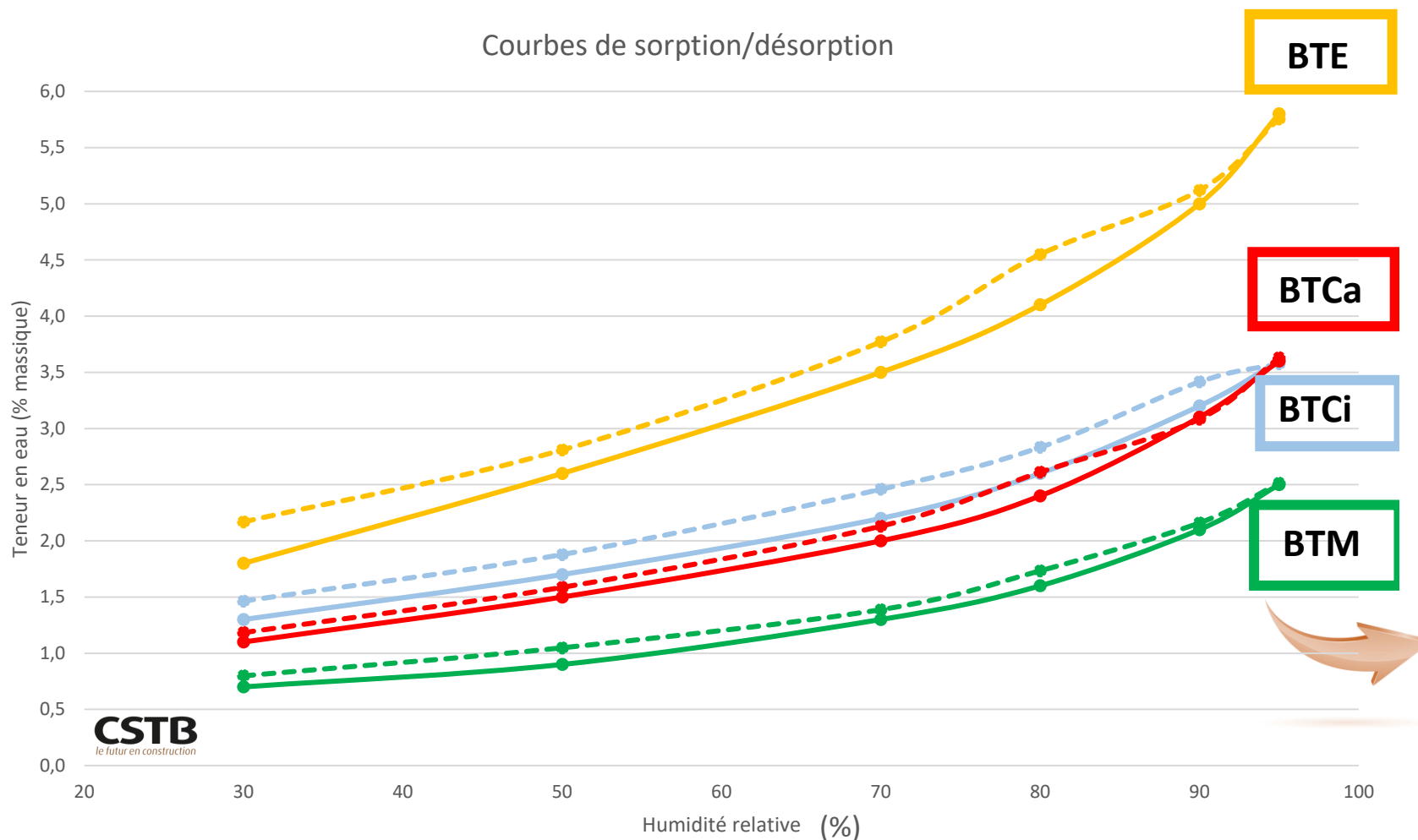
- Essai sur des cubes de 4 cm
- 23°C, 6 paliers d'humidité (30, 50, 70, 80, 90, 95 %HR)
- 2 lots : séchage à 65°C et **105°C**

- 
- ✓ Allures de courbe
 - ✓ Hystérésis ± marquée

Sorption hygroscopique (CSTB)



Courbes de sorption/désorption



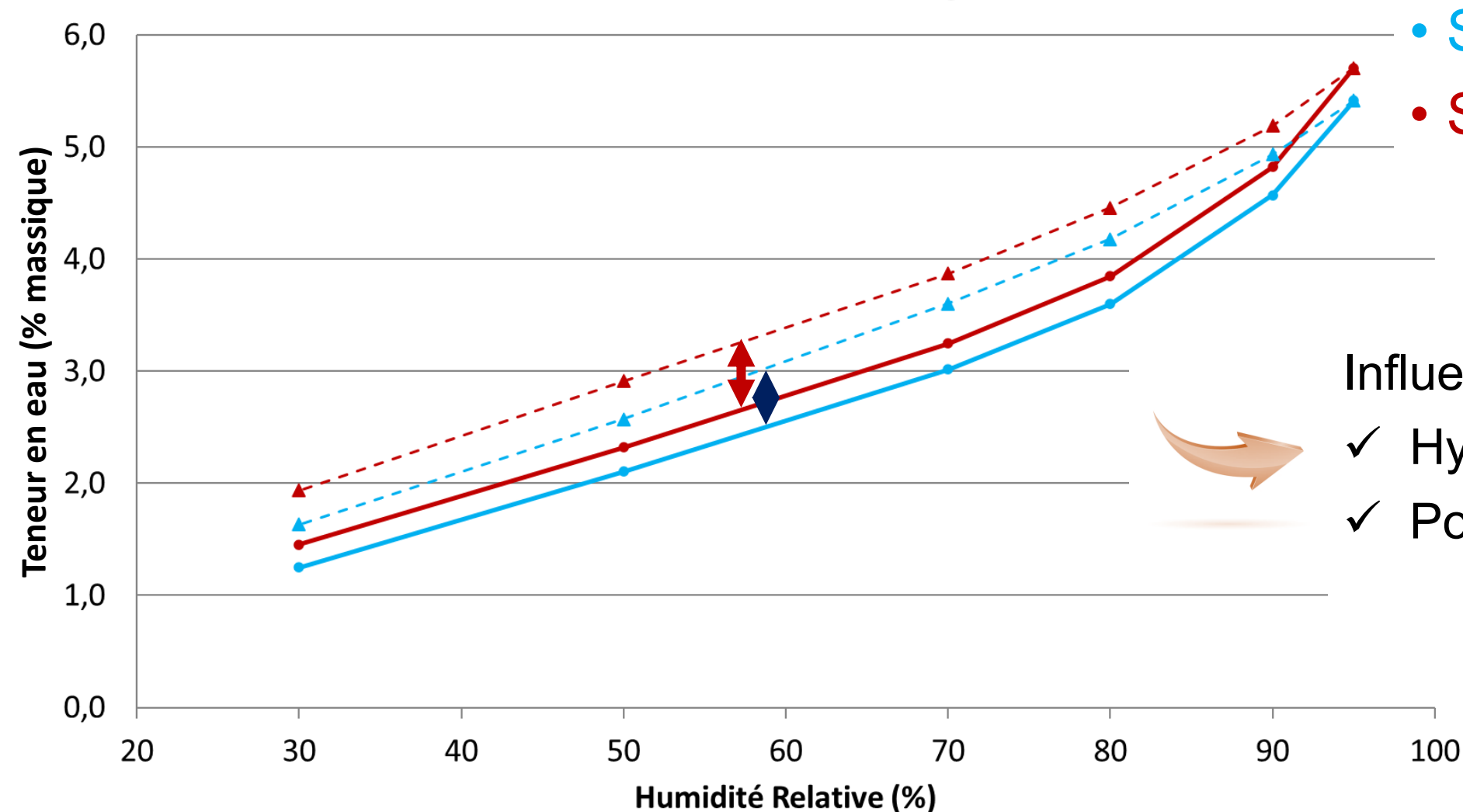
- Essai sur des cubes de 4 cm
- 23°C, 6 paliers d'humidité (30, 50, 70, 80, 90, 95 %HR)
- 2 lots : séchage à 65°C et **105°C**

- ✓ Allures de courbe
- ✓ Hystérésis ± marquée

Sorption hygroscopique - BTE



BTE - influence de la T° de séchage

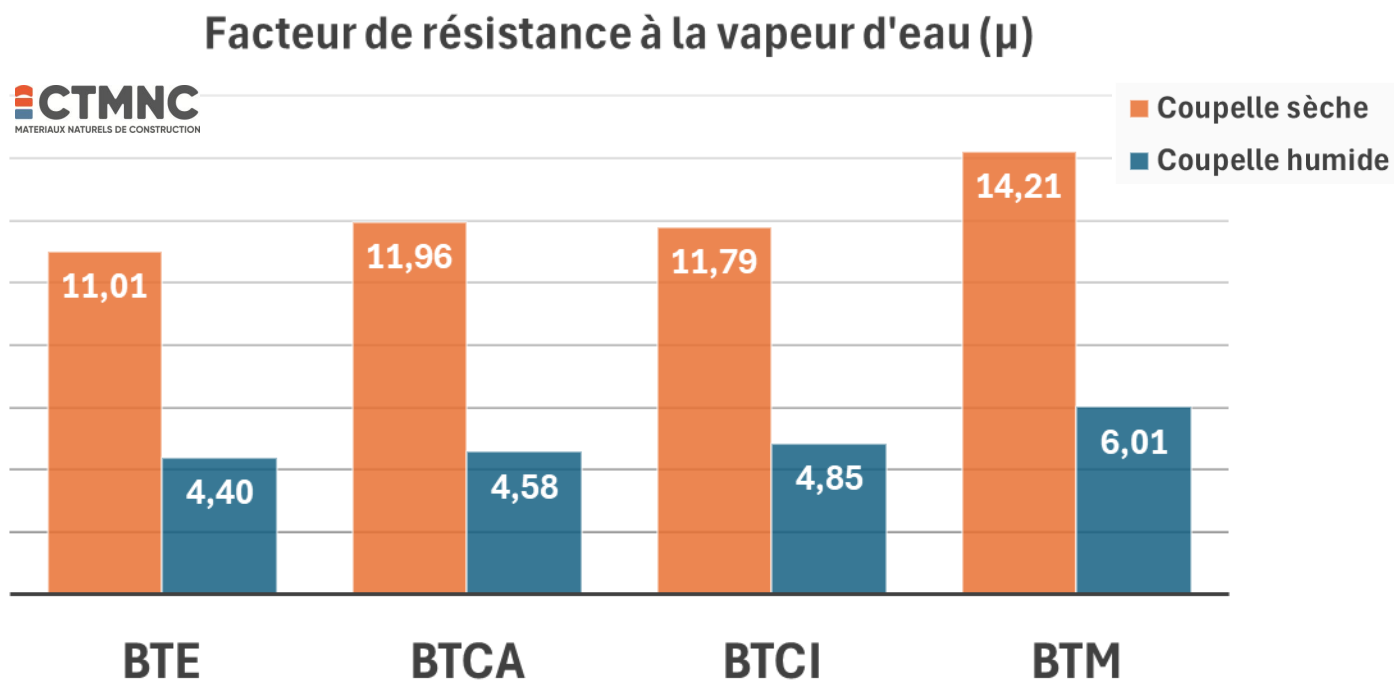


- Séchage à 65°C
 - Séchage à 105°C
- Influence du séchage sur :
- ✓ Hystérésis
 - ✓ Points de départ/arrivée

Perméabilité à la vapeur d'eau (CTMNC)



- BTCa, BTCi et BTE : valeurs regroupées
- BTM : valeurs (légèrement) + élevées

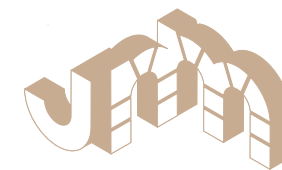


Éprouvette : 60 x 60 x **15** mm³



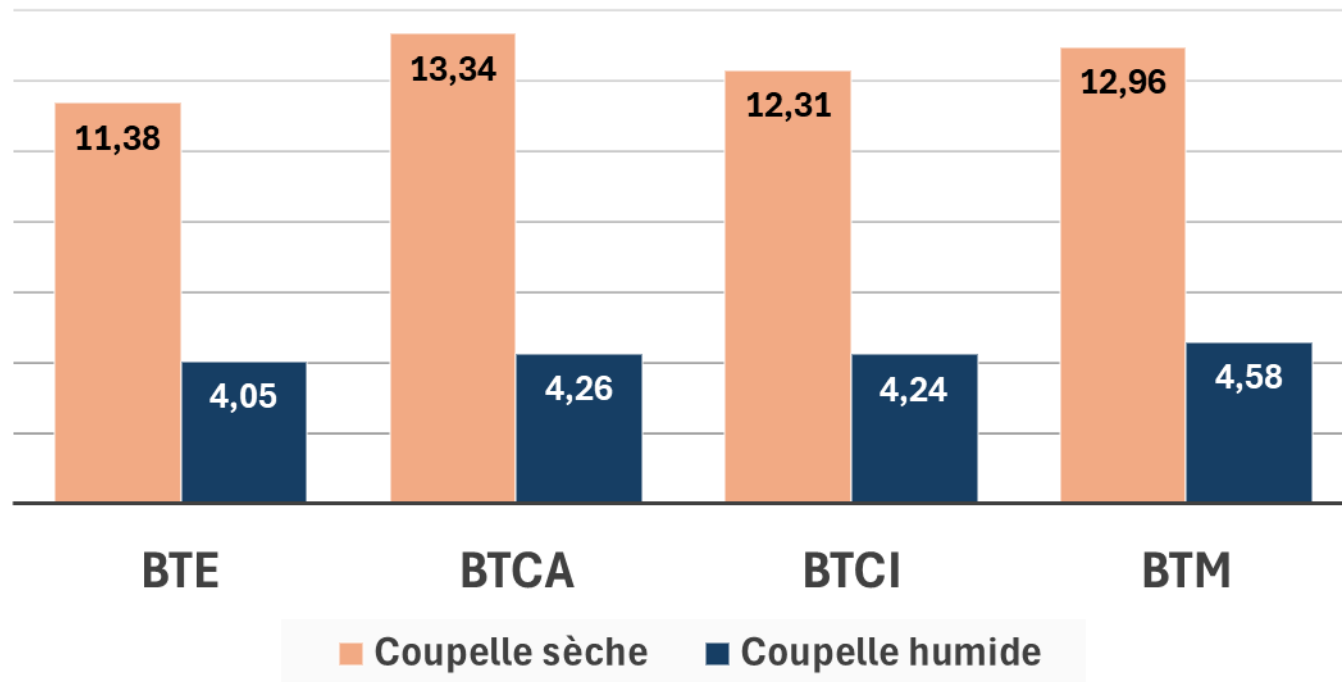
Terre crue = matériau très perméable

Perméabilité à la vapeur d'eau (CSTB)



Facteur de résistance à la vapeur d'eau (μ)

CSTB
le futur en construction

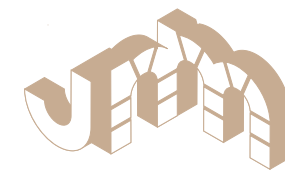


Éprouvette : 60 x 60 x **20** mm³

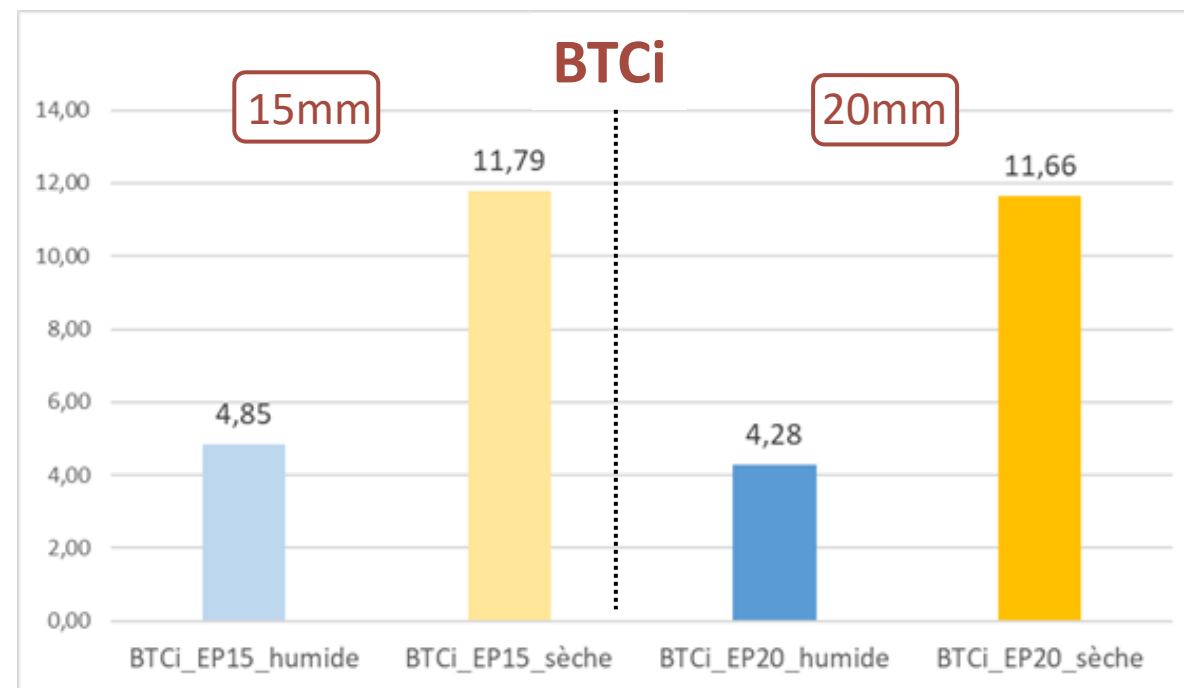
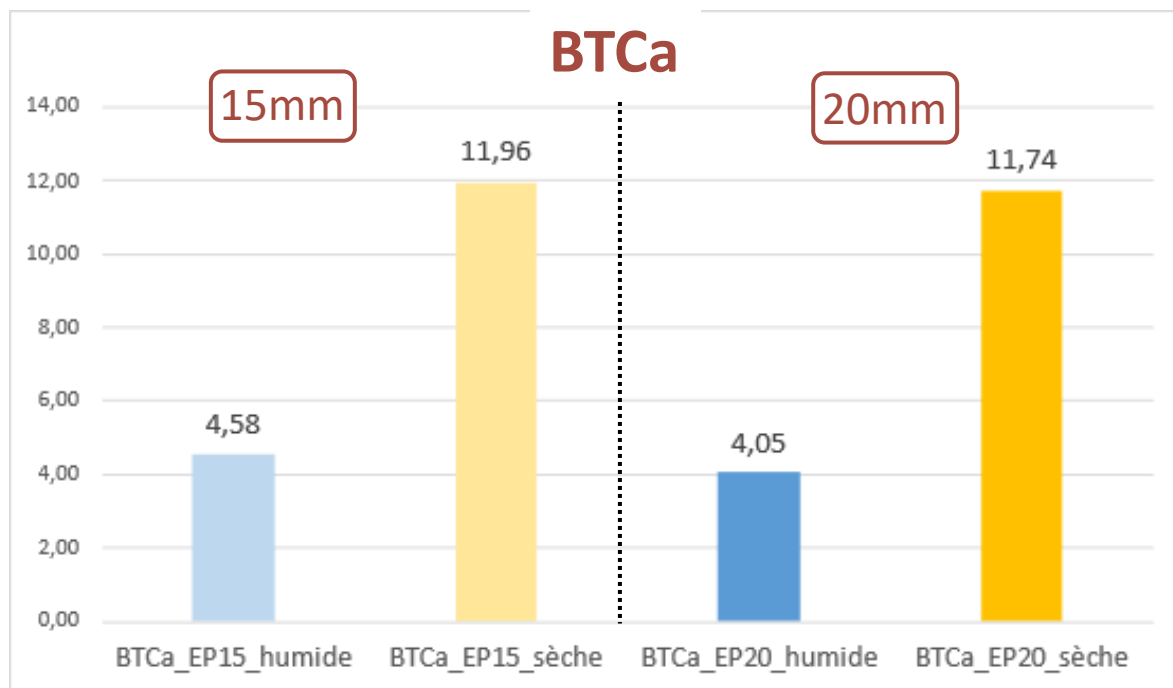


Valeurs similaires entres les 2 laboratoires

Perméabilité à la vapeur d'eau



- Effet de l'épaisseur de l'éprouvette 15 et 20 mm

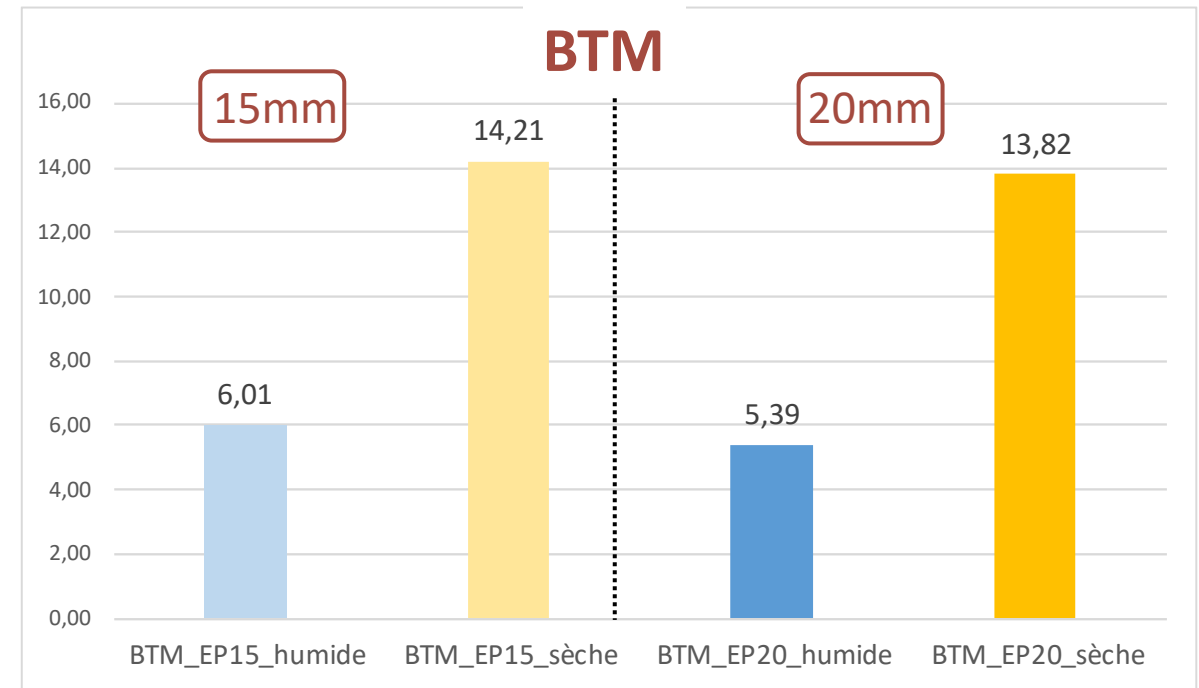
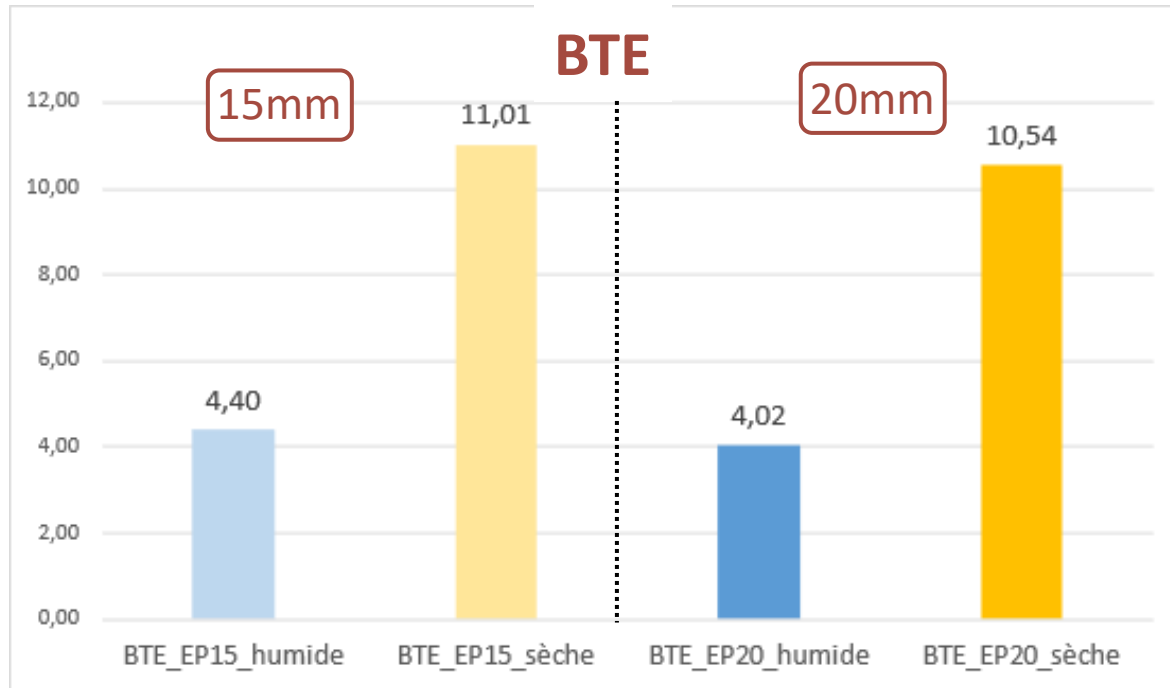


Épaisseur μ

Perméabilité à la vapeur d'eau



- Effet de l'épaisseur de l'éprouvette 15 et 20 mm

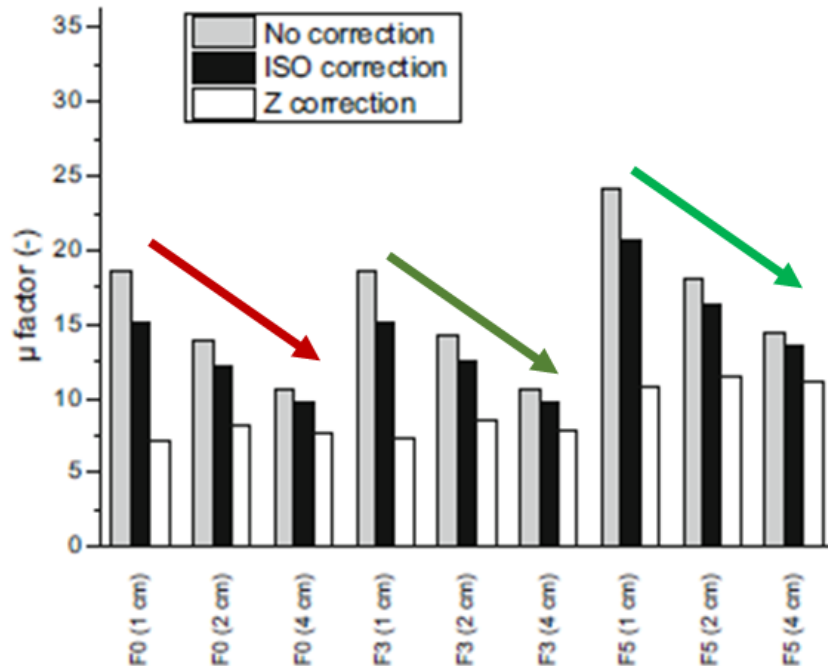


Épaisseur μ

Perméabilité à la vapeur d'eau



- Effet de l'épaisseur : un phénomène signalé dans la littérature



[ref] : McGregor et al, Materials and Structures (2017)

3 refs – 3 épaisseurs (1,2,4 cm)

- Une correction insuffisante dans la norme
- Idéalement : faire 3 épaisseurs
 - Plus de temps = un coût (€) plus élevé
 - Modification de la norme : long, complexe
- Des remarques/questions :
 - Impact sur la modélisation (WUFI) ?
 - Phénomène propre au matériau perméable ?

Absorption capillaire



- Eprouvette immergée dans 5 mm d'eau
- Pesées successives pour déterminer un coefficient d'absorption
- Protection : film étirable et filtre à thé



- Perte de matière
- Pas de mesure « propre »
- Protocole inadapté pour la terre crue

Immersion
5 mm



MBV – Moisture Buffer Value

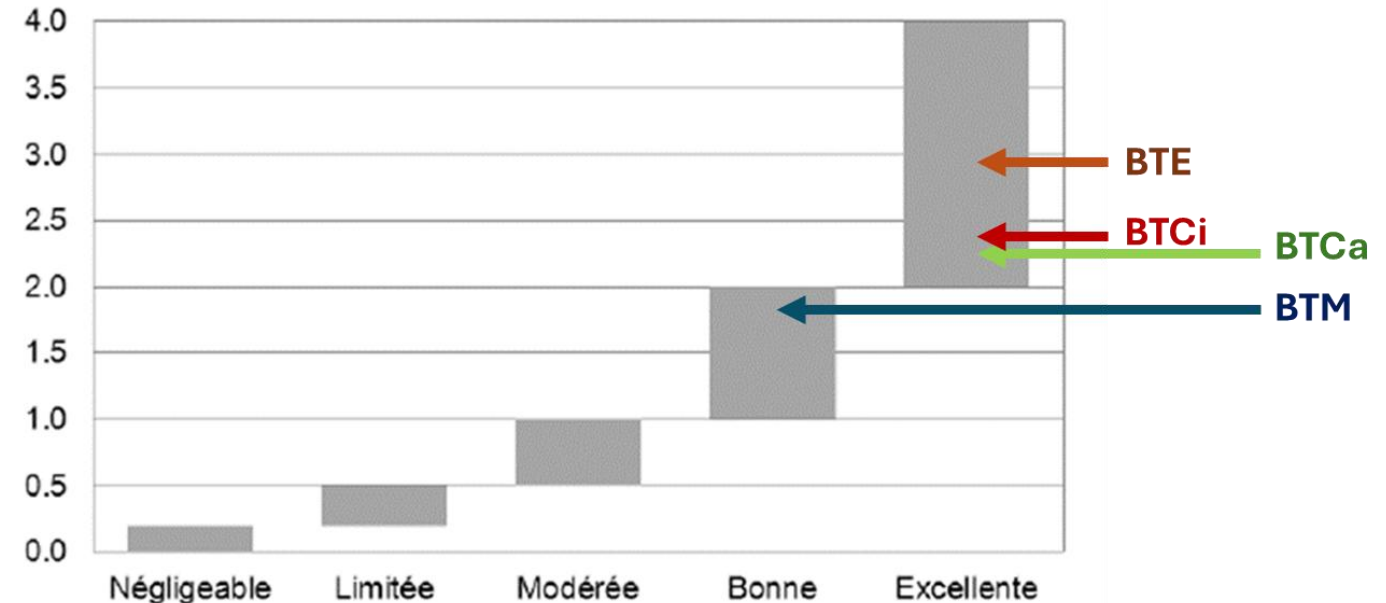


- Essai similaire à la sorption hygroscopique sur un cycle répété
 - 8h à 85% HR, 23°C puis 16h à 50%HR, 23°C
 - Suivi de la masse de l'éprouvette jusqu'à un écart sorption/désorption constant

Référence	MBV	Catégorie
BTM	1,9	Bonne
BTCa	2,3	Excellente
BTCi	2,4	Excellente
BTE	2,9	Excellente



MBV [g/(m².%RH)] @8/16h



Conductivité thermique



Méthode		Fluxmètre (avec séchage 105°C)		Fluxmètre (23°C – 50%HR)		Fil Chaud (19°C – 50%HR)	
Réf.	Mv (g.cm ⁻³)	λ [W/(m.K)]	Humidité (%)	λ [W/(m.K)]	Humidité (%)	λ [W/(m.K)]	Humidité (%)
BTM	1,6	0,49	≈ 0	0,57	0,8	1,03	0,8
BTCi	1,9	0,66	≈ 0	0,73	1,5	1,23	1,5
BTCa	1,9	0,66	≈ 0	0,77	1,4	1,02	1,4
BTE	1,6	0,61	≈ 0	0,71	2,6	0,93	2,6

Influence de l'humidité *Influence de la méthode d'essai*

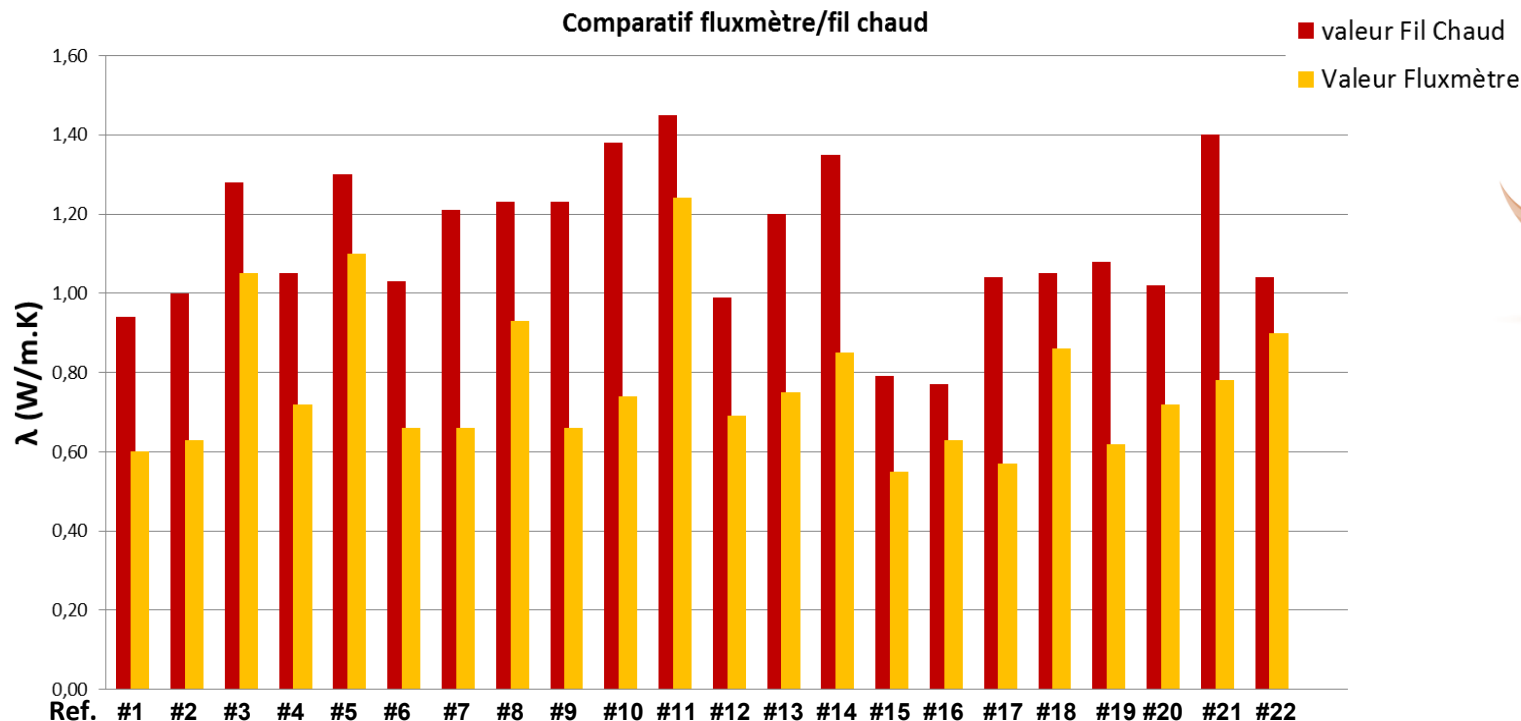
Conductivité thermique



- Comparaison des méthodes sur des briques extrudées (CTMNC)

$\lambda_{\text{fil chaud}} = \lambda_{\text{fluxmètre}} + 40\%$ ► sens perpendiculaire aux plaquettes d'argile/sens d'extrusion

$\lambda_{\text{fil chaud}} = \lambda_{\text{fluxmètre}} + 20\%$ ► sens parallèle aux plaquettes d'argile/sens d'extrusion



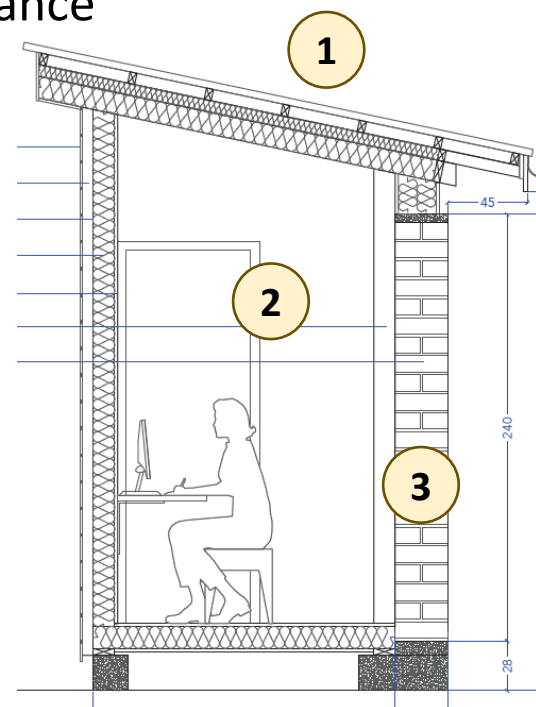
Matériau hétérogène

**Déclaration d'une valeur et
d'une méthode de mesure**

[Ref] Maillard et al, Effects of the anisotropy of extruded earth bricks on their hygrothermal Properties, *Construction and Building Materials* (2014)

Essai sur mur (BTCa) - CSTB

- 1
 - **Climat extérieur** : suivi via station météo locale
 - **Pluie battante** : détermination de l'eau reçue par la surface via des collecteurs de pluie
- 2
 - **Climat intérieur** :
 - Mise en place d'un local chauffé pour simuler une ambiance intérieure
 - Suivi T/HR via capteurs d'ambiance
- 3
 - **Evolution de T/HR et teneur en eau dans le mur** :
 - Suivi de T/HR par des capteurs dans la profondeur du mur et dans le mortier
 - Suivi des teneurs en eau :
 - par carottages
 - et par 2 capteurs de sol (expérimentation)



Conclusion



- Sorption et perméabilité :
 - Données comparables à la littérature
 - Confirmation des bonnes propriétés de la terre crue
 - Différences notables entre les références
- Thermique :
 - Valeurs comparables à la littérature
 - Influence de la méthode de mesure
- Protocoles adaptés et d'autres à créer
- Préparation soignée des échantillons (découpe, surface)
- Local instrumenté : comparer données matériaux / in-situ / modélisation (WUFI)





Merci de votre attention

Contact :

Pascal MAILLARD – CTMNC

maillard.p@ctmnc.fr

06 99 99 84 99

Journées Nationales de la Maçonnerie

5ème édition | Bordeaux

12 et 13 juin 2025