

## UTILISATION DES MATERIAUX BIOSOURCES DANS L'ISOLATION THERMIQUE DES HABITATIONS: CAS DE LA PAILLE DE RIZ ET DE LA NATTE DE ROSEAU

### [ USE OF BIO-SOURCE MATERIALS IN THE THERMAL INSULATION OF DWELLINGS: CASE OF RICE STRAW AND REED MAT ]

Waibaye Adoum<sup>1</sup>, Bozabe Renonet Karka<sup>2</sup>, and Koivoudou Lacatus<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, National Advanced School of Public Works (ENSTP), N'Djamena, Chad

<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, National Higher Institute of Arts and Crafts of Biltine (INSAMB), Biltine, Chad

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This work explores the use of innovative eco-friendly solutions from bio-based materials Sources such as rice straw and reed mat in the thermal insulation of buildings to optimize energy requirements and limit loss of ambient temperature inside homes. For this purpose, an experimental cell in clay brick of dimensions 1.60 m x 1.50 m x 1.55 m was built to highlight these materials. As for the cases of one of the vertical walls and the roof insulated with rice straw and reed mat, the results obtained on the vertical wall made of terracotta brick + reed + rice straw + reed + clay coating show that the surface transmission coefficient defined by U has a value of 0.24 W/m<sup>2</sup>K equal to the recommended limit value. This wall therefore has the thermal qualities of a good insulator. Which leads to the absence of water condensation in the wall and the hygrometry content is good and pleasant to human life as well as the summer comfort as a whole must be better. It appears that this wall has a strong thermal resistance and diffuses little heat from the outside to the inside. At the roof level, two cases were considered. One without insulation and the other with insulation. U of the non-insulated roof is 1.6 W/m<sup>2</sup>K, higher than the recommended limit value of 0.24 W/m<sup>2</sup>K. Once insulated, it is equal to 0.24 W/m<sup>2</sup>K. Based on the results of this parameter, we can conclude that the sheet metal roof, insulated with rice straw, acts as an insulator.

**KEYWORDS:** Bio-source materials, rice straw, reed mat, insulation, thermal.

**RESUME:** Ces travaux explorent l'utilisation des solutions écologiques innovantes des matériaux bio-sources tels que la paille de riz et la natte de roseau dans l'isolation thermique des bâtiments afin d'optimiser le besoin en énergie et de limiter la déperdition de température ambiante à l'intérieur des maisons. A cet effet, une cellule expérimentale en brique cuite de terre de dimensions 1,60 m x 1,50 m x 1,55 m a été construite pour mettre en valeur ces matériaux. Quant aux cas de l'une des parois verticales et la toiture isolée à l'aide de la paille de riz et de la natte de roseau, les résultats obtenus sur la paroi verticale construite en brique de terre cuite + le roseau + paille de riz + roseau + enduit en argile montrent que le coefficient de transmission surfacique définie par U a une valeur de 0,24 W/m<sup>2</sup>K égale à la valeur limite recommandée. Cette paroi présente par conséquent des qualités thermiques d'un bon isolant. Ce qui conduit à l'absence de condensation d'eau dans le mur et la teneur en hygrométrie est bonne et agréable à la vie humaine ainsi que le confort d'été dans son ensemble doit être meilleur. Il apparait que cette paroi dispose d'une forte résistance thermique et diffuse peu la chaleur de l'extérieur vers l'intérieur. Au niveau de la toiture, deux cas ont été considérés. L'un sans isolation et l'autre avec isolation. U de la toiture non isolée est de 1,6 W/m<sup>2</sup>K, supérieur à la valeur limite égale à 0,24 W/m<sup>2</sup>K recommandée. Une fois isolée, il est égal à 0,24 W/m<sup>2</sup>K. Au vu des résultats de ce paramètre, nous pouvons conclure que la toiture en tôle, isolée à l'aide de la paille de riz assure le rôle d'un isolant.

**MOTS-CLEFS:** Matériaux bio-sources, paille de riz, natte de Roseau, isolation, thermique.

## 1 INTRODUCTION

En cette ère du 21ème siècle, la question du Développement Durable est d'actualité. Elle interpelle à tous les niveaux et appelle à un changement de comportement. Elle exige à développer des stratégies d'émergence économique tout en intégrant certains paramètres prenant en compte la sauvegarde de la planète. Au niveau des constructeurs des ouvrages de génie-civil, deuxième émetteur de CO<sub>2</sub>

après les industriels, des efforts doivent être fournis pour limiter la consommation énergétique en opérant des choix de matériaux dont le processus de fabrication a un faible besoin en énergie grise. En plus de cela, certaines dispositions techniques doivent aussi être intégrées dans la construction des bâtiments à forte inertie thermique afin de limiter l'utilisation des climatisations mécaniques, émettrices des gaz fluorés, dont l'impact peut être 23000 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub> sur effet de serre [1]. Le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur le Climat (GIEC) des Nations Unies a confirmé en 2007 que les activités humaines ont un impact grandissant sur la stabilité du système climatique [2]. Si nous en sommes la cause, nous avons aussi la solution entre nos mains. Afin de limiter les conséquences du changement climatique, les émissions de gaz à effet de serre doivent être divisées par deux d'ici 2050 [2]. Certains documents renseignent que le domaine du bâtiment est globalement responsable de 40% de toutes les émissions des gaz à effet de serre dans le monde, 37% en 2021 [3]. La tendance actuelle est d'arriver à construire écologiquement et sain. A cet effet, plusieurs travaux sont menés sur les matériaux bio-sources, d'isolation thermique des bâtiments. On peut citer quelques-uns. Par exemple des résultats furent obtenus avec les fibres présentes dans les feuilles de bananier avec une conductivité très promotrice selon l'étude réalisée par A. J NELSON lors de ses travaux de thèse [4]. Dans le même esprit, E. Antezak and al ont mené des travaux sur le comportement hygrothermique de la paille d'anas de lin utilisé comme isolant en vrac de combles perdus dispersé et étalé horizontalement sur une épaisseur de 25 à 30 cm dont les résultats ont été probants [5]. On peut aussi citer les travaux de T. Vincelas and al ont eu à réaliser des travaux sur un mélange de chanvre et de la terre crue à utiliser dans les constructions afin de leur procurer une meilleure conductivité [6]. Les travaux de H. Kaddouri and al, visent à améliorer les niveaux de confort thermique et les besoins énergétiques d'un bâtiment résidentiel; dont ils ont eu à appliquer trois types de matériaux bio-sources tels que la laine de chanvre, la fibre de bois et le liège expansé dans la boucle murale d'un bâtiment. Leurs travaux ont montré que l'isolation d'un toit avec 8 cm de laine de chanvre, contribue à des économies d'énergie presque de 37% au refroidissement et au chauffage [7]. D'après les travaux consultés de références [8], [9], [10], [11] et [12], l'étude du comportement thermique dynamique des composants de bâtiment est liée aux consommations d'énergie en matière de chauffage et de climatisation dans le but de maintenir constante la température ambiante intérieure du bâtiment dans les pays tempérés.

Les travaux de Rabemanantsoa et al (2021) traitent la caractérisation du comportement thermique dynamique des composants d'un bâtiment à usage d'habitation se sont focalisés sur le confort thermique de l'habitation en murs à base de terre [13]. Cette étude qui s'appuie sur deux méthodes telles que la norme internationale ISO 13786 et la méthode des mesures in situ sur des cellules prototypes a permis de démontrer que l'épaisseur d'un mur a un effet significatif sur le facteur d'amortissement et le temps de retard de la propagation de la variation journalière de température. Adagbe a aussi utilisé en 2021 de la terre renforcée par des tiges de paille de riz comme matériau des éléments porteurs des bâtiments armés avec le rônier [14].

L'accessibilité à l'électricité aux ménages tchadiens par exemple est moins de 20% d'après la Banque Mondiale en 2018 [15]. Au vu de tous ces indices défavorables, si l'on veut améliorer les conditions de vie dans l'habitat et diminuer les risques qui pèsent sur l'état de santé et la productivité des occupants du fait de l'inconfort thermique dans les bâtiments, on doit penser à une adaptation et donc il faut une meilleure connaissance des performances énergétiques de l'enveloppe du bâtiment et de ses composantes. Cela nécessite le recours aux matériaux écologiques et aux outils d'analyse pour mieux analyser et comprendre le comportement des bâtiments afin d'améliorer ses performances énergétiques que ce soit en phase de conception ou de vie.

Les travaux de cet article s'inscrivent dans le cadre d'une démarche liée aux respects du principe de Développement Durable. Les motivations de ces travaux consistent en premier lieu d'approfondir les connaissances sur le comportement thermique des matériaux écologiques par l'expérimentation et les calculs d'une part, et d'autre part d'analyser les solutions passives permettant d'éviter l'augmentation de la température dans l'environnement intérieur d'un bâtiment et par conséquent diminuer les heures d'inconfort. Ces travaux ont permis d'opérer un choix d'un prototype de cellule ou bâtiment expérimental pouvant permettre de réaliser les travaux expérimentaux. Ensuite identifier un certain nombre de matériaux bio-sources qui peuvent être utilisés comme isolants principaux et d'autres comme isolants de complément. Ensuite, les résultats obtenus permettent de faire les analyses et les discussions.

## **2 MATÉRIELS ET MÉTHODES**

Pour parvenir à la réalisation de ces essais expérimentaux, nous avons commencé à réfléchir sur la conception et la réalisation des échantillons expérimentaux. C'est ainsi que sur la base de certains travaux réalisés via la littérature, nous étions emmenés à concevoir un échantillon d'une cellule expérimentale de dimensions 1,60 m x 1,50m et de hauteur 1,55 m dont la toiture est en tôle. Pour ces études, quatre types d'échantillons sont considérés. Il s'agit de deux parois verticales en murs constituées d'une paroi témoin non isolée et l'autre isolée. Ensuite deux cas de toitures dont l'un non isolé et l'autre isolé sur base de quelques matériaux isolants.

### **2.1 IDENTIFICATION DES MATÉRIEAUX DE CONSTRUCTION ET D'ISOLATION**

Les matériaux utilisés pour la construction de nos échantillons sont: briques en terre cuite de dimensions 25 cm x 15 cm x 7 cm, mortier de terre crue (argile) et enduit de crépissage en argile mélangée avec du sable. Les matériaux choisis comme isolants pour ces études sont: la natte de roseau et la paille du riz. L'agencement ou la disposition de ces matériaux constituent des échantillons et on a:

**Echantillon n°1:** mur en brique de terre cuite et enduit en mortier de ciment (témoin);

**Echantillon n°2:** mur en brique de terre cuite, natte de roseau, paille du riz, natte roseau et enduit d'argile;

**Echantillon n°3:** tôle au niveau de toiture non isolée;

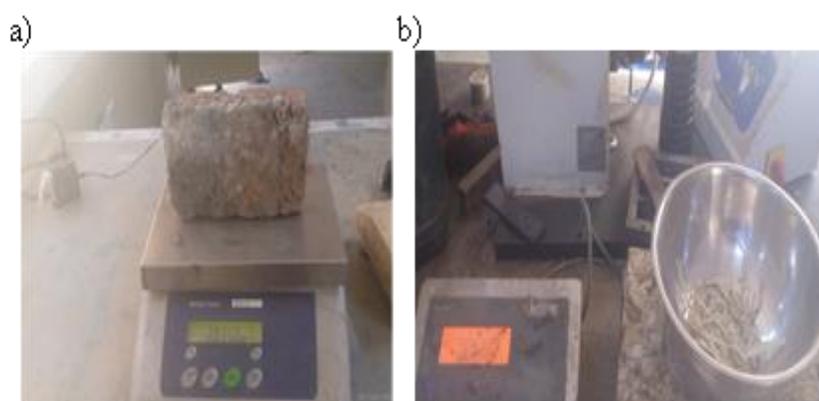
**Echantillon n°4:** tôle au niveau de toiture, paille du riz et natte de roseau.

## 2.2 DÉTERMINATION DES MASSES VOLUMIQUES DES MATÉRIAUX

Les masses volumiques des différents matériaux ont été déterminées au laboratoire de l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP) de N'Djamena, Tchad, conformément à la norme NFP18-554. Les matériels utilisés à cet effet sont essentiellement: une burette graduée de 500 ml, une balance électronique, une tare. Pour la détermination des volumes et masses des matériaux étudiés, nous sommes passé par plusieurs étapes.

### 2.2.1 MESURES PONDÉRALES

La Figure 1-a-b présente les images relatives aux mesures pondérales des échantillons d'une brique en terre cuite et des pailles du riz.



**Fig. 1.** Pesage des échantillons de la brique en terre cuite et des pailles de riz

### 2.2.2 MESURES VOLUMIQUES

Les essais sont réalisés pour les mesures volumiques des matériaux étudiés tels que la paille de riz, le roseau et la brique en terre cuite. Dans un premier temps, il a été utilisé une éprouvette graduée contenant 300 ml d'eau. Ensuite pour la mesure volumique des matériaux, on introduit à tour d'essai les échantillons des matériaux précédemment pesés. A travers les lectures de volumes, sont déterminés les volumes réels des matériaux. L'ensemble de ces essais sont présentés par la Figure 2. Cependant, dès qu'il est procédé à l'immersion, il est conseillé de réaliser aussitôt les mesures afin de limiter l'adsorption d'eau par les matériaux.



**Fig. 2.** Immersion du matériau paille de riz

Le volume total  $V_{total}$  donné par l'équation (1) correspond au volume initial d'eau augmenté du volume du matériau immergé  $V_{matériau}$  à mesurer.

$$V_{total} = V_{eau\ initial} + V_{matériau} \quad (1)$$

Le calcul du volume du matériau inconnu  $V_m$  se calcule en faisant soustraire du volume total le volume d'eau initial  $V_{initial}$ .

$$V_{matériau} = V_{total} - V_{eau\ initial} \quad (2)$$

Le calcul de la masse volumique d'une substance solide peut être déterminée en calculant le rapport entre la masse du solide et son volume. La mesure de la masse a été effectuée à la première étape à l'aide d'une balance. Pour retrouver le volume du matériau, les équations (1) et (2) nous permettent de le déterminer. Une fois le volume est déterminé, le rapport entre la masse et le volume permet d'obtenir la masse volumique du solide.

$$\rho = \frac{M_{masse\ du\ matériau}}{V_{volume\ du\ matériau}} \quad (3)$$

$\rho$ : représente la masse volumique apparente du matériau ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).

$M_{masse\ des\ matériaux}$ : représente la masse du solide (Kg).

$V_{volume\ des\ matériaux}$ : représente le volume du solide ( $\text{m}^3$ ).

### 2.3 DISPOSITIF CONSTRUCTIF DU PROTOTYPE EXPÉRIMENTAL

Les essais expérimentaux sont réalisés sur une cellule construite en briques de terre cuite dont la toiture est en tôle (voir Figure 3). Deux des quatre parois verticales et une paroi horizontale de toiture en tôle de la cellule constitue un type d'échantillon avec ou sans isolation:

**Echantillon 1:** Mur en brique cuite + enduit mortier de ciment (échantillon témoin);

**Echantillon 2:** Mur en brique cuite + natte de roseau + paille du riz + natte de roseau + enduit en argile;

**Echantillon 3:** Toiture non isolée

**Echantillon 4:** Natte de roseau + paille du riz + tôle.



Fig. 3. Cellule expérimentale construite dans le cadre de notre étude

Afin de créer des espaces pour la mise en place des isolants, des gabarits en chevrons sont réalisés et placés à une distance de 14,5 cm du côté intérieur de la cellule par rapport aux trois murs et permettant de fixer les nattes de roseau (voir Figure 4-a). Ces gabarits permettent de régler l'épaisseur de l'isolation (épaisseur des isolants + enduit de crépissage). La mise en œuvre de ces gabarits facilite grandement le travail pour les étapes ultérieures. La figure 4-b présente le cas d'une isolation relative à l'échantillon 2.

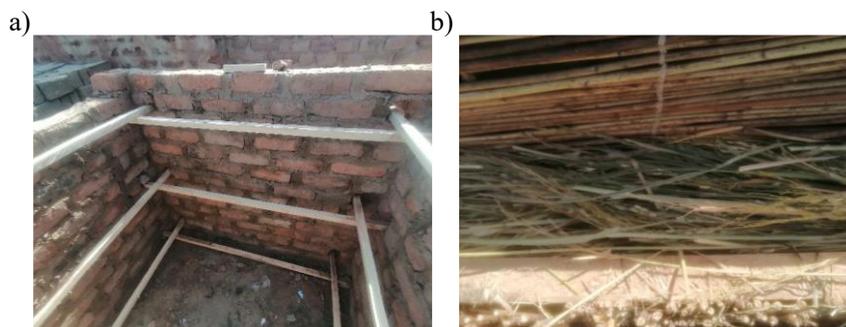
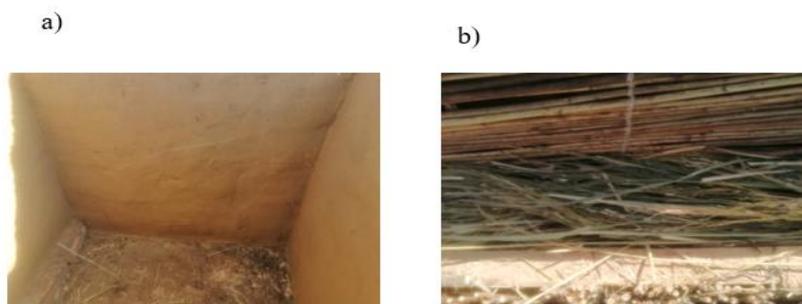


Fig. 4. a) Bardage pour isolation; b) Paille de riz entre nattes de roseaux (échantillon 2)

En plus des gabarits, nous avons utilisé plusieurs autres techniques permettant le réglage de la planimétrie des parois. Il s'agit des ficelles de réglage de niveau de paroi afin de contrôler la planéité du gabarit tout au long de sa pose. Les gabarits de niveau inférieur sont au moins positionnés à 15 cm au-dessus du sol fini (Figure 4-a). Des liteaux ou cales sont fixés sur les lambourdes tous les 80 cm afin de maintenir une équidistance entre gabarits et parois de murs et aussi pour assurer la stabilité de l'ensemble des isolations (Figure 4-a);

Les Figures 5-a et b présentent respectivement les images des parois intérieures de la cellule après avoir appliqué le crépissage sur les nattes de roseau ainsi que la disposition des pailles de riz entre les nattes de roseau dont l'une fixée aux murs et l'autre aux gabarits crépis à l'enduit d'argile, c'est le cas de l'échantillon 2.



**Fig. 5. a) parois crépis avec l'enduit d'argile crue; b) paille du riz entre deux parois de nattes de roseau (échantillon 2)**

Les figures 6-a-b correspondent aux cas de la toiture. Ici sur la Figure 6-a, les nattes de roseau sont disposées en sous faces inférieures de la toiture servant de support pour étaler les pailles du riz voire Figure 6-b. c'est le cas de l'échantillon 4.



**Fig. 6. Isolation de la toiture-a) nattes de roseau à la sous face de la toiture; b) étalage des pailles du riz (échantillon 4)**

## 2.4 MESURE DES TEMPÉRATURES ET CALCUL DU DÉPHASAGE THERMIQUE

### 2.4.1 MESURE DES TEMPÉRATURES

Une série de mesures est effectuée sur les faces intérieures et extérieures des quatre échantillons. En effet, pour la présente étude, il a été procédé à l'observation de l'évolution des gradients thermiques par mesure de température sur chacune des faces au cours d'une journée (Figure 7-a). L'objectif ici, c'est la mise en évidence de la question de transfert thermique sur chaque paroi isolée thermiquement ou non. Ceci permet de caractériser les propriétés thermiques des parois dans leur composante d'isolation. De plus, la fiabilité dans le temps et la résistance aux intempéries font partie des qualités nécessaires surtout que ces matériaux sont à l'abris des intempéries telles que la pluie. Rappelons que les parois extérieures des murs sont utilisées principalement comme une protection. Elles constituent les premières barrières thermiques qui limitent les échanges de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur d'une pièce. Etudier son inertie conduit aussi donc à suivre l'évolution de la température ambiante de l'air en contact avec la surface interne. C'est pour cette raison que l'évolution de la variation de la température interne de la cellule a été observée au moyen de l'enregistreur de température Elitech rc-5 (voir Figure 7-a-b). Cet instrument a été placé sur les faces intérieure et extérieure des parois pour mesurer les variations de température extérieure et intérieure des échantillons 1,2, 3 et 4 faisant l'objet de ces études.

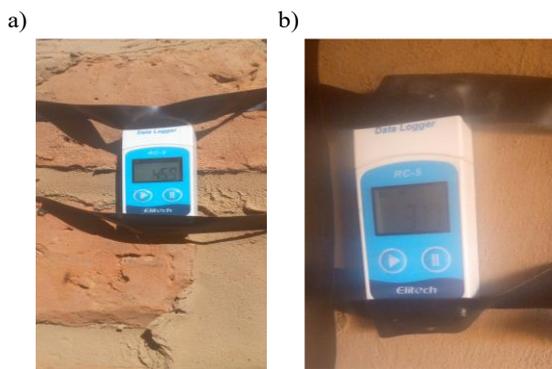


Fig. 7. a) température paroi extérieure; b) température paroi intérieure de l'échantillon 2

### 2.4.2 CALCUL DES DÉPHASAGES THERMIQUES

Ce paramètre est l'un des plus importants dans une démarche constructive en vue d'évaluer l'inertie thermique d'une paroi. Sa détermination est capitale durant la phase expérimentale. Les résultats obtenus feront ensuite l'objet d'une comparaison avec ceux de la Réglementation Thermique de 2012. D'une manière générale, le déphasage thermique est égal à l'intervalle de temps entre le moment où le maximum d'une sollicitation thermique extérieure impacte de façon équivalente l'intérieur d'un bâtiment en une journée. Cette grandeur caractérise la capacité d'un matériau à retarder le transfert de chaleur. Noté D, il est donc obtenu par la relation suivante:

$$D = t_{T_{extmax}} - t_{T_{intmax}} [h] \quad (4)$$

Où

$$D = \frac{\sqrt{T}}{e \times \sqrt{\pi}} \times e \times \sqrt{\frac{\rho C}{\lambda}} \quad (5)$$

Avec  $T = 24 \text{ heures} = 24 \times 3600\text{s}$ ;  $e$ : c'est l'épaisseur du matériau,  $\rho$  la masse volumique,  $C$ : est la chaleur spécifique.

$$C_p = \frac{Q}{m \Delta T}; \text{ avec } Q = \varphi \times \Delta t \quad (6)$$

Où Q est la quantité de chaleur, m la masse du corps en Kg et  $\Delta T$  la différence de température en kelvin.  $\varphi$  est le flux de chaleur par unité de surface et  $\Delta t$  le temps pour lequel la quantité de chaleur est calculée, prise égale à une heure dans notre cas.

### 2.5 CHOIX DE LA MÉTHODE DE CALCUL DE CONDUCTIVITÉ THERMIQUE

Pour le calcul des conductivités thermiques des matériaux utilisés au cours de ces travaux, les choix ont été porté sur les deux méthodes empiriques qui sont celles de Elangovan R et Marie VIEL (Figure 8) [16]. En effet, par manque des appareils de mesures appropriés, il a été jugé utile d'opter pour ces méthodes. S'agissant de la méthode de MARIE VIEL, elle est appliquée aux matériaux isolants dont leurs masses volumiques sont faibles (<500kg/m3). Elle donne des résultats proches des valeurs de la conductivité  $\lambda$  des autres expériences.

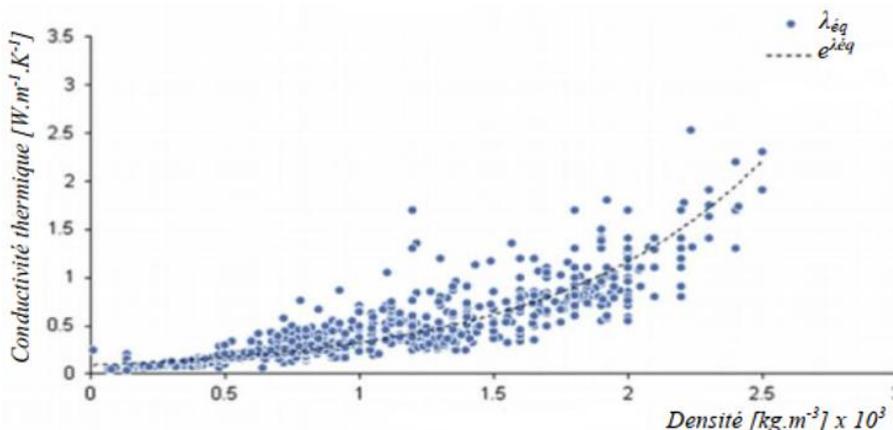


Fig. 8. Relation entre la densité et conductivité thermique des matériaux de construction [7]

## SIMULATION

Après avoir déterminé la valeur de la conductivité thermique de chaque matériau et mesuré les températures à l'extérieur et à l'intérieur des parois considérées comme des données initiales, il a été procédé à des simulations numériques pour déterminer les températures sur les parois intérieures et au niveau des interfaces de chaque couche de matériau constituant les parois ou échantillons.

### 3 RÉSULTATS, ANALYSES ET DISCUSSIONS

Dans cette section, il est donc question de faire des analyses et discussions sur l'ensemble des résultats obtenus. Elles concernent les masses volumiques, les conductivités, les résistances thermiques, les coefficients ou capacités thermiques ainsi que les déphasages des matériaux utilisés. Au final, un jugement peut être porté sur le comportement thermique de chaque échantillon selon les matériaux associés.

#### 3.1 MESURES DES TEMPÉRATURES

Le tableau 1 présente les résultats des mesures de l'évolution des températures effectuées en 24 heures sur les faces intérieures et extérieures des échantillons.

Tableau 1. Températures enregistrées sur les parois des échantillons 1, 2, 3 et 4 de la cellule

N°	Échantillons	Températures extérieures max °C	Températures intérieures max °C	Variation en baisse de températures en %
1	Mur + enduit en ciment	45	42	6,66
2	Brique en terre cuite+ le roseau+ paille de riz+ roseau+ enduit en argile	45	31,5	30
3	Toiture non isolée	54	51	5,55
4	Toiture isolée (paille de riz + le roseau)	56	37,9	32,32

#### 3.2 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Les valeurs des masses volumiques de la paille de riz, nattes de roseau et briques en terre cuite sont dans le Tableau 2. La valeur la plus élevée est celle de la brique en terre cuite. En général, plus la masse volumique est élevée, moins le matériau est performant dans l'isolation.

Tableau 2. Caractéristiques physiques des matériaux

	Paille du riz	Nattes de roseau	Brique en terre cuite
Masse (g)	7.4	21.6	2.835
Volume initial d'eau(ml)	300	300	2.2.10-3
Volume final d'eau (ml)	496	384	-
Variation de volume (ml)	196	84	-
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	38	257	1288.63

#### 3.3 CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

##### 3.3.1 CONDUCTIVITÉ THERMIQUE

Les conductivités thermiques issues de ces études pour les différents matériaux sont présentées par le Tableau 3. Pour la paille de riz, il apparaît que la valeur obtenue égale à  $\lambda = 0,041 \frac{W}{mK}$  est proche de celle obtenue par Valin Colson dans le cas des isolations relatives aux panneaux en fibres bio-sources et techniques en 2019 [17]. Par ailleurs, il faut noter que la valeur ici de ces travaux est inférieure à celle obtenue par Mariette T. ADAGBE en 2021 dans le cadre de sa thèse axée sur l'utilisation de la terre renforcée par des tiges de paille de riz comme matériau des éléments porteurs des bâtiments armés avec le rônier [14]. Cependant, on note que les valeurs de conductivité thermique obtenues à l'issue de nos travaux présentent un grand écart par rapport à ceux de DOUZANE et al., 2016 [18]. Ces derniers ont mis en évidence que la conductivité thermique dépend de l'orientation des bottes de paille de riz selon que l'orientation est parallèle ou perpendiculaire aux flux. Tout de même la valeur de la conductivité obtenue à l'issue de nos travaux est proche de la valeur de référence égale à 0,04 W/m.K selon la Règlementation Thermique de 2024. On peut conclure que la paille de riz est un bon

isolant thermique. Elle est pratiquement égale à la valeur moyenne des isolants confondus qui est de  $0,04 \frac{W}{m} \cdot K$ . Pour la natte de roseau, la valeur de sa conductivité thermique déterminée au cours des essais est de  $0,071 \text{ W/m.K}$  (Tableau 3). Elle est supérieure à la valeur limite de  $0,04 \text{ W/m.K}$  selon la RT 2024 (Règlementation Thermique de 2024) et à celle définie par J-M Pupile, architecte DPLG qui est de  $0,05 \text{ W/m.K}$  [19]. Ce qui veut dire que tout comme la paille de riz, le roseau est aussi un isolant thermique. Cependant, il intervient en complément dans le cadre de cette étude. Quant à la brique en terre cuite, sa conductivité est de  $0,51 \text{ W/m.K}$ . Elle est presque 9 fois supérieure à la valeur limite  $0,04 \text{ W/m.K}$  selon la RT 2024. Ce qui veut dire qu'elle est une passoire thermique qui laisse passer le flux de chaleur.

**Tableau 3. Propriétés thermiques de la paille de riz, natte de roseau et brique en terre cuite**

	Paille du riz (14,5cm)	Natte de roseau (2cm)	Brique en terre cuite de 15cm	Valeur recommandée
Conductivité $\lambda$ (W/m.k)	0,041	0,071	0,51	$\leq 0,06$
Résistance R ( $m^2 \text{ K/W}$ )	3,53	0,281	0,294	$\geq 2,9$
Transmittance U ( $w/ (m^2.K)$ )	0,28	3,55	3,40	$\leq 0,24$

### 3.3.2 RÉSISTANCE THERMIQUE

La capacité thermique d'un matériau à résister à la conduction de la chaleur est caractérisée par sa résistance thermique. Plus sa valeur est élevée plus le matériau en question est un bon isolant. Dans le cas de nos essais présentés par le tableau 3, la paille de riz présente la meilleure résistance thermique par rapports aux autres sur la base des épaisseurs étudiées. Sa résistance thermique égale à  $3,53 \text{ m}^2\text{K/W}$  pour une épaisseur de 14,5 cm est bien supérieure à la valeur minimale recommandée de  $2,9 \text{ m}^2\text{K/W}$  dans le cas d'une isolation d'un bâtiment. Vu que la couche de la paille sera associée à d'autres couches pour obtenir une paroi isolante, nous pourrions dire qu'elle présente une très bonne capacité thermique. Il faut noter qu'ici, l'épaisseur de la natte de roseau n'est que de 2 cm. Pour ce matériau, on peut obtenir une meilleure performance thermique en augmentant son épaisseur. On peut donc conclure que ce matériau à une bonne résistance à la conduction de la chaleur. S'agissant de la brique en terre cuite, sa capacité thermique égale à  $0,294 \text{ m}^2\text{K/W}$  est au moins 9 fois inférieure à la valeur minimale recommandée qui est de  $2,9 \text{ m}^2\text{K/W}$ . On peut donc conclure que ce matériau a une valeur de résistance très faible.

### 3.4 SIMULATIONS DES PAROIS ÉCHANTILLONS

#### ÉCHANTILLON 1 (TÉMOIN) ET ÉCHANTILLON 2 (ISOLÉ)

Lors des simulations, plusieurs paramètres sont déterminés. Il s'agit de l'isolation thermique, l'hygrométrie et le confort thermique d'été dont les principaux paramètres sont l'atténuation d'amplitude thermique et le déphasage thermique.

#### RÉSISTANCES THERMIQUES, TEMPÉRATURES ET CONDUCTIVITÉS THERMIQUES

Le tableau 4 présente les caractéristiques thermiques telles que la conductivité thermique ( $\lambda$ ), la résistance thermique R ainsi que les valeurs de températures min et max des différentes couches de l'échantillon 1 (témoin non isolé) et l'échantillon 2 isolé. On note que la variation de température est aussi observable. Au niveau de l'échantillon 1, elle évolue de  $45^\circ\text{C}$  à  $42,2^\circ\text{C}$  avec une résistance thermique de  $0,346 \text{ m}^2\text{K/W}$ , très inférieure à la valeur minimale recommandée ( $2,9 \text{ m}^2\text{K/W}$ ). Ce qui prouve que cette paroi est une passoire thermique. Cependant au niveau de l'échantillon 2, l'analyse, montre que les valeurs des conductivités thermiques au niveaux des isolants varient de  $0,04$  à  $0,065 \text{ W/m.K}$ . La moyenne de leur conductivité reste inférieure à la valeur recommandée qui est de  $0,06 \text{ W/m.K}$ . Par ailleurs, au niveau de l'échantillon 2, la variation de température évolue de  $45^\circ\text{C}$  à  $31,5^\circ\text{C}$  entre l'extérieur et l'intérieur. Cet écart est au-delà de  $10^\circ\text{C}$ . De plus, on remarque que sa résistance équivalente est de  $4,22 \text{ m}^2\text{K/W}$ , proche de  $4 \text{ m}^2\text{K/W}$  caractérisant les parois des bâtiments à Basse Consommation Énergétique (BBC) selon la RT 2024 (Règlementation Thermique de 2024). Ce qui veut dire que cet échantillon offre une bonne qualité de confort thermique.

**Tableau 4. Valeurs des résistances, conductivités thermiques et évolutions de température**

**a) Echantillon 1 (témoin)**

#	Matériau	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	Température [°C]		Poids [kg/m <sup>2</sup> ]
				min	max	
	Résistance thermique surfacique*		0,130	39,0	42,2	
1	2 cm Enduit chaux/ciment	1,000	0,020	42,2	42,5	36,0
2	15 cm Brique pleine terre cuite	0,960	0,156	42,5	44,5	300,0
	Résistance thermique surfacique*		0,040	44,5	45,0	
	17 cm Total de la composition		0,346			336,0

\*Résistances thermique suivant la norme DIN 6946 pour le calcul de la valeur U. Pour la protection contre l'humidité et du profil de température, Rsi =0,25 et Rse =0,04 ont été utilisés conformément à la norme DIN 4108-3.

Température de surface intérieure (min/med/max): 42,2°C 42,2°C 42,2°C  
 Température de surface extérieure (min/med/max): 44,5°C 44,5°C 44,5°C

**b) Echantillon 2 (isolé)**

#	Matériau	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	Température [°C]		Poids [kg/m <sup>2</sup> ]
				min	max	
	Résistance thermique surfacique*		0,130	30,7	31,5	
1	3 cm Enduit d'argile	0,800	0,038	31,5	31,6	51,0
2	1 cm Roseau	0,065	0,154	31,6	32,2	2,3
3	14,5 cm Paille comprimée	0,040	3,625	32,2	44,1	14,5
4	0,5 cm Roseau	0,065	0,077	44,1	44,4	1,1
5	15 cm Brique pleine terre cuite	0,960	0,156	44,4	44,9	300,0
	Résistance thermique surfacique*		0,040	44,9	45,0	
	34 cm Total de la composition		4,220			368,9

\*Résistances thermique suivant la norme DIN 6946 pour le calcul de la valeur U. Pour la protection contre l'humidité et du profil de température, Rsi =0,25 et Rse =0,04 ont été utilisés conformément à la norme DIN 4108-3.

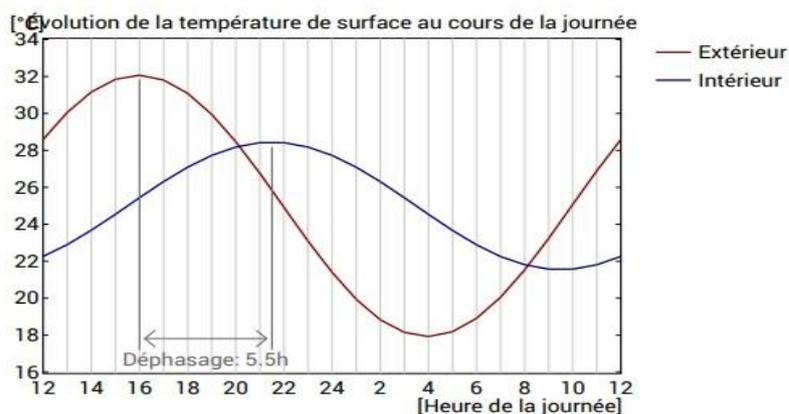
Température de surface intérieure (min/med/max): 31,5°C 31,5°C 31,5°C  
 Température de surface extérieure (min/med/max): 44,9°C 44,9°C 44,9°C

**EVOLUTION DES PROFILS DE TEMPÉRATURES À TRAVERS LES ÉCHANTILLONS 1 ET 2**

La figure 9 présente les profils de l'évolution de la température sur les deux échantillons (1 et 2). On remarque que la variation de température entre l'extérieur et l'intérieur est trop faible au niveau de l'échantillon 1 (Figure 9-a). Ce qui veut dire que cet échantillon 1 (témoin) présente une faible résistance thermique et la diffusion de chaleur de l'extérieur vers l'intérieur est élevée. C'est une passoire thermique.

Comparativement à la figure 9-a, la figure 9-b présente le profil de l'évolution de température avec un gradient thermique plus élevé entre l'extérieur et l'intérieur des échantillons. Il apparait donc que l'échantillon 2 dispose d'une forte résistance thermique et diffuse peu la chaleur de l'extérieur vers l'intérieur.

a) Echantillon 1 (témoin)



b) Echantillon 2 (isolé)

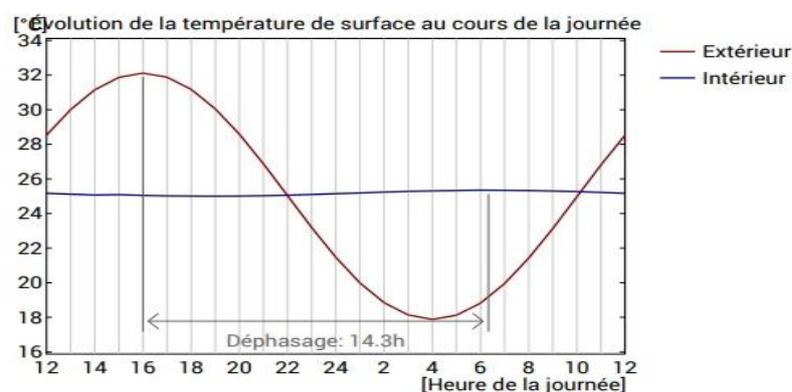
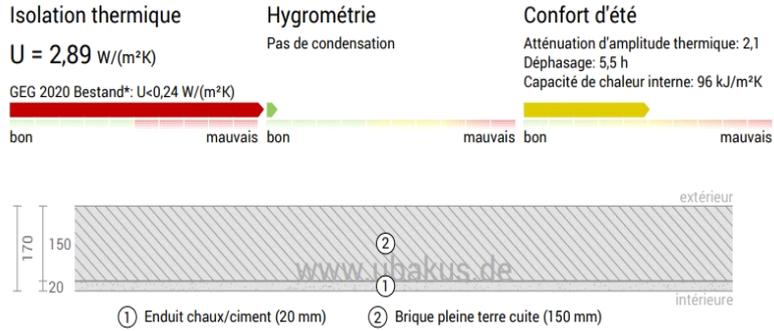


Fig. 9. Échantillon 1, courbes des variations de températures

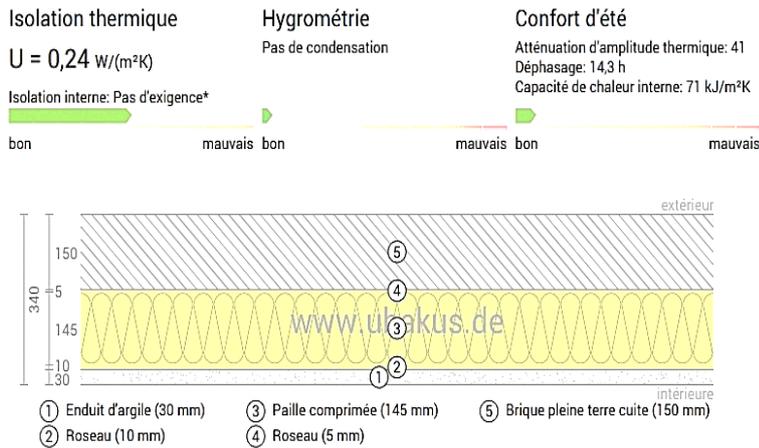
COEFFICIENT DE TRANSMITTANCE, HYGROMÉTRIE ET CONFORT D'ÉTÉ

Le paramètre d'isolation thermique caractérisé par  $U$  (exprimée en  $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ), aussi appelée coefficient de transmission surfacique dont ses valeurs pour les échantillons 1 et 2 sont présentées par la Figure 10-a-b. Au niveau de l'échantillon 1 (témoin) la valeur de  $U$  égale à  $2,89 W / (m^2 \cdot K)$ , est supérieure à la valeur limite égale à  $0,24 w / (m^2 \cdot K)$ . Plus  $U$  est faible, plus la paroi est performante thermiquement. Vu que pour cet échantillon, la valeur de  $U$  est élevée et égale à  $2,89 W / (m^2 \cdot K)$ , cela prouve que l'échantillon 1 est un mauvais isolant. Elle diffuse plus vite la chaleur de l'extérieure vers l'intérieur. Par contre l'échantillon 2 isolé, présente une valeur de  $U$  égale  $0,24 w / (m^2 \cdot K)$  correspondant à la valeur recommandée. Cela prouve que l'échantillon 2 présente une bonne isolation thermique. Quant à l'hygrométrie, elle est bonne au niveau des échantillons 1 et 2. Par contre le confort thermique au niveau de l'échantillon 2 est meilleur que celui de l'échantillon 1 (voir Figure 10).

**a) Echantillon 1 (témoin)**



**b) Echantillon 2 (isolé)**



**Fig. 10. Echantillon 1 et 2, courbes des variations de températures**

**RÉSISTANCE, CONDUCTIVITÉ THERMIQUE ET TEMPÉRATURES**

Le tableau 5 présente les valeurs des conductivités thermiques des échantillons 3 et 4 correspondant respectivement aux 0,750 W/m.K et 0,04 W/m.K tout en sachant que la valeur recommandée qui est de 0,06 W/m.K selon la RT 2012 (Règlementation Thermique de 2012). En ce qui concerne la variation de température, elle passe de 54°C à cause de surchauffe à 51°C. Ces valeurs ont été mesurées au-dessus de la tôle sous le chevron. Les résistances équivalentes présentées pour les échantillons 3 et 4 sont respectivement de 0,865 m<sup>2</sup>K/W et de 4,192 m<sup>2</sup>K/W sachant que la valeur limite est de 3,3 m<sup>2</sup>K/W pour les toitures selon la RT 2012 (Règlementation Thermique de 2012). L'échantillon présente une bonne isolation thermique.

Tableau 5. Valeurs des résistances, conductivités thermiques et évolutions de température

a) Echantillon 3 (témoin: toiture non isolée)

#	Matériau	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	Température [°C]		Poids [kg/m <sup>2</sup> ]
				min	max	
1	8 cm lame d'air (ventilée)				51,0	0,1
	Résistance thermique surfacique*		0,170	51,0	51,8	
2	8 cm Lambourde	0,130	0,615	51,8	53,7	36,0
3	3 cm Tôle ondulée	0,750	0,040	53,7	53,9	15,0
	Résistance thermique surfacique*		0,040	53,9	54,0	
	19 cm Total de la composition		0,865			54,4

\*Résistances thermique suivant la norme DIN 6946 pour le calcul de la valeur U. Pour la protection contre l'humidité et du profil de température, Rsi =0,25 et Rse =0,04 ont été utilisés conformément à la norme DIN 4108-3.

Température de surface intérieure (min/med/max): 51,8°C 51,8°C 51,8°C  
 Température de surface extérieure (min/med/max): 53,9°C 53,9°C 53,9°C

b) Echantillon 4 (toiture isolée)

#	Matériau	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	Température [°C]		Poids [kg/m <sup>2</sup> ]
				min	max	
	Résistance thermique surfacique*		0,170	36,3	37,9	
1	2 cm Roseau	0,065	0,308	37,3	40,0	4,5
2	0,02 cm Membrane, Polyéthylène	0,400	0,001	38,6	40,0	0,2
3	14 cm Paille de riz	0,040	3,500	38,6	52,9	12,6
	14 cm Chevron (12%)	0,130	1,077	39,5	51,6	6,3
4	8 cm Paille de riz	0,040	2,000	52,9	55,4	0,0
	8 cm Lambourde (100%)	0,130	0,615	51,4	55,4	36,0
5	3 cm Tôle ondulée	0,300	0,100	55,2	55,8	15,0
	Résistance thermique surfacique*		0,040	55,8	56,0	
	27,02 cm Total de la composition		4,192			74,6

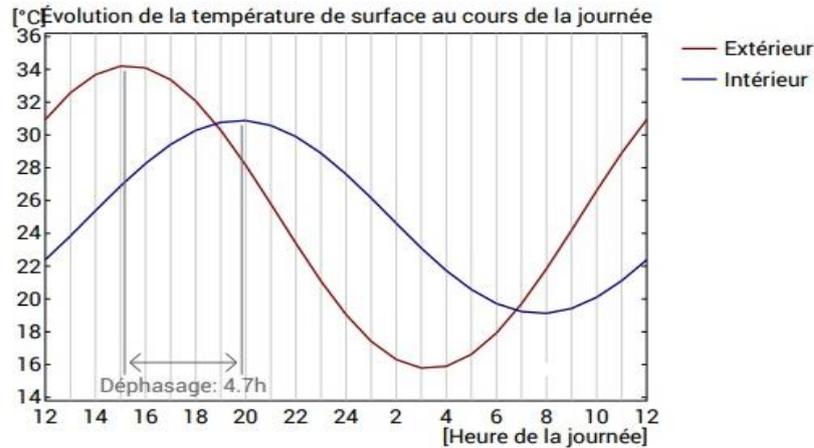
\*Résistances thermique suivant la norme DIN 6946 pour le calcul de la valeur U. Pour la protection contre l'humidité et du profil de température, Rsi =0,25 et Rse =0,04 ont été utilisés conformément à la norme DIN 4108-3.

Température de surface intérieure (min/med/max): 37,3°C 37,5°C 37,9°C  
 Température de surface extérieure (min/med/max): 55,8°C 55,8°C 55,8°C

DÉPHASAGE

La figure 11 présente l'évolution de la température en vingt-quatre heures sur la toiture en tôle ondulée correspondant aux l'échantillons 3 et 4. Pour l'échantillon 3, le déphasage est seulement de 4,7 heures. Mais il est de 11,2 heures au niveau de l'échantillon 4. On conclut, que cette toiture dispose une qualité thermique. Par conséquent, elle permet de créer un confort.

a) Echantillon 3 (témoin: toiture non isolée)



b) Echantillon 4 (toiture isolée)

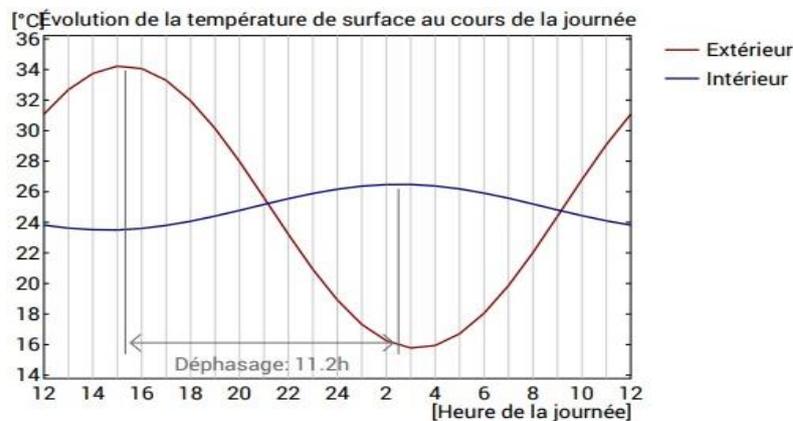
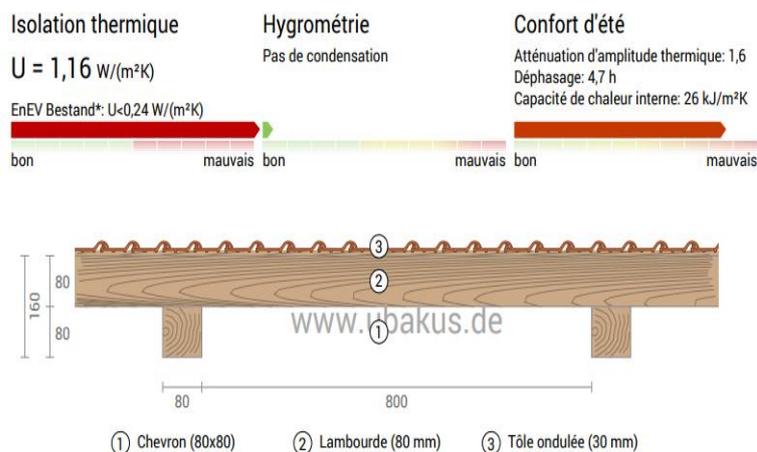


Fig. 11. Échantillon 3 et 4, variation des courbes de températures de la paroi en tôle ondulée isolée à l'aide de la paille de riz associée à la natte de roseau dont la disposition se fait de l'intérieur vers l'extérieur

COEFFICIENT DE TRANSMITTANCE, HYGROMÉTRIE ET CONFORT D'ÉTÉ

La figure 12 présente les paramètres liés à l'isolation thermique, l'hygrométrie et le confort thermique d'été caractérisant les toitures non isolées et isolées correspondant respectivement aux échantillons 3 et 4. Les résultats montrent ici que la valeur de l'isolation thermique U de la toiture non isolée est de  $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , supérieure à la valeur limite égale à  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  recommandée. Par contre au niveau de l'échantillon 4, elle est de  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Au vu de ce paramètre, la toiture en tôle, isolée à l'aide de la paille de riz et la natte de roseau assure le rôle d'un isolant. Cette dernière offre de meilleure isolation thermique ainsi qu'un meilleur confort d'été par rapport à l'échantillon 3.

**a) Echantillon 3 (témoin: toiture non isolée)**



**b) Echantillon 4 (toiture isolée)**

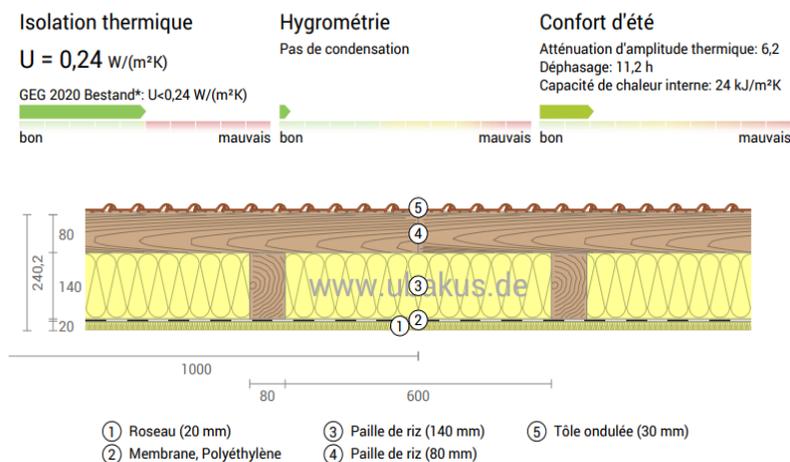


Fig. 12. Echantillons 3 (témoin sans isolation) et 4 (avec isolation)

**4 CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

Ces travaux, ont permis de mettre en évidence, la question de flux de chaleur émis par le rayonnement au cours de la journée. Cette chaleur peut solliciter thermiquement les parois d'une construction d'habitation par exemple. Et comme par moment, l'homme voudra bien se mettre à l'abris de la chaleur ultra violée au cours de la journée et infra rouge dans la nuit, il est donc évident d'isoler thermiquement les bâtiments dans sa globalité. Ici, des choix ont été portés sur quelques matériaux bio-sources comme la paille de riz, la natte de roseau dans l'optique de réduire l'effet de chaleur à l'intérieur des habitations. C'est dans cet esprit qu'il était question d'associer ces éléments bio-sources soit au niveau des murs ou au niveau de la toiture en tôle ondulée isolée et non isolée. Les résultats de ces travaux montrent qu'au niveau des parois verticales de la cellule, cas des échantillons 1 (non isolé) et 2 (non isolé), la chaleur diffuse peu de l'extérieur vers l'intérieur de la cellule à cause de l'isolation thermique appliqué au niveau de l'échantillon 2. La valeur de la résistance passe de 2,9 à 0,24 W/ (m²K). Le déphasage thermique passe de de 5,5 heures à 14,30 heures. L'échantillon 2 isolé offre de meilleur conditions thermiques. S'agissant des parois horizontales (toitures) relatives aux échantillons 3 (non isolé) et 4 (isolé), la chaleur diffuse également peut (au niveau de l'échantillon 4) à cause des valeurs des résistances thermiques qui passe de 1,16 dans le cas de l'échantillon 1 à 0,24 W/ (m²K) à l'échantillon 4. Le déphasage thermique passe aussi de de 4,7 heures à 11,20 heures. L'échantillon 2 isolé offre de meilleurs conditions thermiques.

Pour l'ensemble des échantillons, l'hygrométrie est bonne. Ces résultats ouvrent des perspectives dans le domaine du génie civil surtout dans les bâtiments. Le fait d'utiliser les matériaux bio-sources comme isolants thermiques dans l'intérêt de créer des confort thermiques à l'intérieur des habitations offre des perspectives à un pays comme le Tchad où il fait chaud en certaine période de l'année et la disponibilité d'énergie se pose avec acuité. On sait qu'en période de canicule, il est difficile de vivre harmonieusement dans nos bâtiments. Les quelques techniques développées dans ce mémoire peuvent faire l'objet d'amélioration afin de les vulgariser.

## REFERENCES

- [1] Impact Assessment (European Parliament), Proposition de règlement de la Commission européenne sur les gaz à effet de serre fluorés, 2012. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2013/496753/IPOL-JOIN\\_NT\(2013\)496753\\_FR.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2013/496753/IPOL-JOIN_NT(2013)496753_FR.pdf).
- [2] Benoît SAAR (2017). Bilan du changement climatique du niveau global au niveau africain. Atelier national de renforcement des capacités en négociations internationales sur le climat. N'Djamena, Tchad, 26 au 29 septembre. pp 1-30.
- [3] Rapport sur l'état mondial des bâtiments et de la construction en 2022, [https://globalabc.org/sites/default/files/202211/FRENCH\\_Executive%20Summary\\_Buildings-GSR.pdf](https://globalabc.org/sites/default/files/202211/FRENCH_Executive%20Summary_Buildings-GSR.pdf)
- [4] A. P NELSON, Etude de Matériaux Bio-sources pour l'Isolation Thermique des Bâtiments en Climat Tropical Humide, thèse 2020, <https://theses.fr/2020ANTI0517.pdf>
- [5] E. Antczak, M. Asli, F. Brachelet, F. Brue, D. Defer, Etude du comportement hygrothermique d'anas de lin utilis'és comme isolant en vrac de combles perdus, in: Conference IBPSA France 2018, Bordeaux, France, 2018. Accessed: Feb. 07, 2024. [Online]. Available: <https://hal.science/hal-03209296>.
- [6] T. Vincelas, T. Colinart, E. Hamard, A.H. de M'énibus, T. Lecompte, H. Lenormand, Light earth performances for thermal insulation: application to earth-hemp, *Acad. J. Civ. Eng.* 35 (2) (2017), <https://doi.org/10.26168/icbbm2017.26>.
- [7] H. Kaddouri, A. Bidouche, M. S. H. Alaoui, I. Driouch, M. Hamdaoui: Impact of Insulation using Bio-sourced Materials on the Thermal and Energy Performance of a Typical Residential Building in Morocco, *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 117, Issue 1 (2024) 43-59, [https://semarakilmu.com.my/journals/index.php/fluid\\_mechanics\\_thermal\\_sciences/index](https://semarakilmu.com.my/journals/index.php/fluid_mechanics_thermal_sciences/index).
- [8] ANTONIO G. et al, Influence of natural ventilation on the thermal behavior of a massive building, 6th International Building Physics Conference, *Energy Procedia*, volume 78, pages 1287 – 1292, 2015. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.142>).
- [9] MAZZEO D. et al, Dynamic thermal characteristics of opaque building components - A proposal for the extension of EN ISO 13786, 6th International building physics conference, *Energy Procedia*, volume 78, pages 3240 – 3245, 2015. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.787>).
- [10] EMILIO S. et al, Thermal performance evaluation of a massive brick wall under real weather conditions via the conduction transfer function method, case studies in construction materials, volume 7, pages 56 – 65, 2017. (<https://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2017.04.003>).
- [11] FAYCAL E. et al., Thermal performance of unfired clay bricks used in construction in the north of France: Case study, case studies in construction materials, volume 3, pages 102 – 111, 2015. (<https://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2015.09.001>).
- [12] TOMASZ K., Performance of building materials and whole enclosures in nonstationary thermal conditions, 7th Scientific-Technical conference material problems in civil engineering, *Procedia Engineering*, volume 108, pages 445 – 452, 2015. (<https://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.169>).
- [13] Herimamy NAHARITRA RABEMANANTSOA, étude de l'inertie thermique de parois: Cas des murs typiques de maisons d'habitation de Madagascar. Génie civil. Université d'Antananarivo, 2021. <https://theses.hal.science/tel-03157609/de>.
- [14] Mariette TOGNONNOUMI ADAGBE, utilisation de la terre renforcée par des tiges de paille de riz comme matériau des éléments porteurs des bâtiments armés avec le rônier. Construction durable. Université Paul Sabatier - Toulouse III, Université d'Abomey-Calavi, 2021. <https://theses.hal.science/tel-03551654/file/2021TOU30084b.pdf>
- [15] Évaluation de l'accès à l'électricité des personnes déplacées de force et des communautés d'accueil au Sahel, préparé par la Banque Mondiale, <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099051624162017832/pdf/P17317212c253a0a1a6a7166ee58cccc5f.pdf>
- [16] Marie VIEL (2019). Développement des composites bio-sources destinés à l'isolation des bâtiments. *Academic journal of civil engineering*, vol 36 (N°1), pp. 408-415. <https://doi.org/10.26168/ajce.36.1.96>.
- [17] V. Colson, thèse: Panneaux composites bio-sourcés destinés à l'isolation des bâtiments: caractérisation des ressources et procédé de production. Matériaux composites et construction. Université de Rennes, 2019. Français. ffNNT: 2019REN1S031ff. fftel-03738039f, [https://theses.hal.science/tel-03738039/file/COLSON\\_Valentin.pdf](https://theses.hal.science/tel-03738039/file/COLSON_Valentin.pdf)
- [18] Douzane et al., performance hygrothermique d'un bâtiment en botte de paille: investigations in-situ et en laboratoire, 2026. <https://www.researchgate.net/publication/282847689>.
- [19] J-M Pupile (2025). Qualités thermiques comparées des matériaux de construction. <https://passivact.fr>.