

Élaboration et caractérisation thermo-physique de nouveaux matériaux locaux composites, isolants thermiques et biosourcés

[Development and thermo-physical characterization of new local composite, thermal insulation and bio-sourced materials]

Adam Sayoudi Bouzou¹, Idrissa Gaye¹, Mouhamadou Thiam², Ndéye Thiam², Issa Diagne³, and Mamadou Wade²

¹ED2DS, Université Iba Der Thiam (UIDT), Thiès, Senegal

²Département Électromécanique, École Polytechnique de Thiès (EPT), Thiès, Senegal

³Département de Physique, Université Cheick Anta Diop (UCAD), Dakar, Senegal

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: In the African context, where agricultural by-products and natural resources are often underutilized or considered waste or invasive species, this study aims to valorize locally available raw materials through the development of fully bio-based insulating composite materials. The materials were produced using typha, rice husk, residues from threshing millet ears, and cassava starch, through a simple and reproducible process accessible even at an artisanal scale. A total of 25 formulations were created by combining one to three of these raw materials with a natural binder. The resulting composites were characterized. The bulk density of the materials ranged from 198.64 to 361.02 kg/m³, while their thermal conductivity varied between 0.07 and 0.17 W/m·K. These results highlight the strong potential of these bio-based composites for use as thermal insulation in sustainable building applications.

KEYWORDS: materials, bio-sourced, insulation, sustainable development, valorization.

RESUME: Dans un contexte africain où les ressources naturelles issues de l'agriculture sont souvent sous-exploitées, ce travail s'inscrit dans une démarche de valorisation de matières premières locales fréquemment considérées comme des déchets ou des envahissants. L'étude porte sur l'élaboration et la caractérisation thermo physique de nouveaux matériaux composites isolants, entièrement biosourcés. Ces matériaux ont été fabriqués à partir de typha, balle de riz, résidus issus du battage d'épis de mil et amidon de manioc, à l'aide d'un procédé simple et reproductible, accessible même à l'échelle artisanale. Vingt-cinq formulations ont été réalisées en combinant une à trois de ces matières premières avec un liant. Les matériaux obtenus ont été caractérisés. Les résultats montrent une masse volumique variant entre 198,64 et 361,02 kg/m³, et une conductivité thermique comprise entre 0,07 et 0,17 W/m·K. Ces performances indiquent un bon potentiel d'application dans l'isolation thermique des bâtiments durables.

MOTS-CLEFS: matériaux, biosourcés, isolant, développement durable, valorisation.

1 INTRODUCTION

Les enjeux du développement durable demeurent une préoccupation majeure, pour l'atteinte de certains Objectifs de Développement Durable dans le contexte africain, il est essentiel de valoriser les innombrables matières premières naturelles,

souvent issues de l'agriculture, disponibles localement. Ces ressources, fréquemment perçues comme des déchets ou des espèces envahissantes, présentent pourtant un fort potentiel de valorisation.

Ce travail vise à élaborer et à caractériser sur le plan thermo physique plusieurs matériaux composites isolants, entièrement biosourcés, à partir de ressources locales telles que le typha, la balle de riz, les résidus issus du battage d'épis de mil et l'amidon de manioc. L'objectif est de développer des matériaux légers, à propriétés isolantes, pouvant être utilisés dans le bâtiment ou d'autres domaines de la construction. Le procédé de fabrication doit rester simple, accessible et facilement reproductible, y compris à l'échelle artisanale.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 MATIÈRES PREMIÈRES

La figure 1 donne une présentation des matières premières utilisées

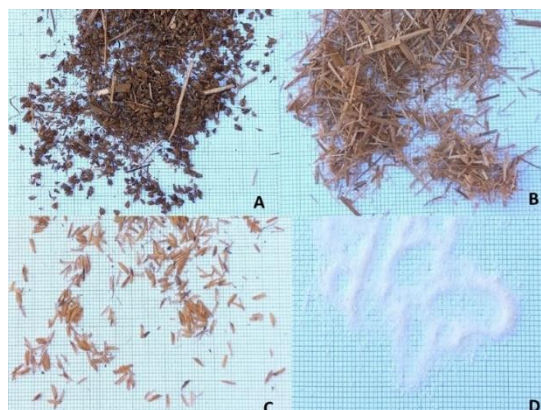


Fig. 1. (A) Résidus issus de battage d'épis de mil; (B) Typha broyé; (C) Balle de riz; (D) Tapioca broyé

- Les résidus issus de battage d'épis de mil proviennent de deux sources: une partie de la zone de Niayes et l'autre partie du bassin arachidier. Ils sont composés de glumes, de glumelles, de tiges broyées et de traces de feuilles d'arbres, de sable et d'argile.
- Le typha australis (partie non immergé) se présente sous forme de tige (comptant un épi) et des feuilles, dont les dimensions peuvent dépasser 2 m de hauteur et 2 cm de largeur, après avoir été cueilli et séché, il est broyé et tamisé. Ce typha provient de la Vallée du Fleuve Sénégal
- La balle de riz provient essentiellement de la Vallée du Fleuve Sénégal (VFS) et la Casamance. La balle de riz n'a subi aucun traitement préalable;
- L'amidon se présente sous forme de granulats de couleur blanche.

2.2 ÉLABORATION DES NOUVEAUX MATÉRIAUX COMPOSITES

L'élaboration des nouveaux matériaux composites est faite à l'échelle artisanale. Le séchage est fait à l'air libre sous le soleil et le compactage manuel avec des moyens rudimentaires (planche de bois et marteau). Selon les proportions du mélange, les constituants sont pesés judicieusement à l'aide d'une balance électronique de précision et par la suite collecté dans le récipient devant accueillir le mélange. Le malaxage est fait manuellement, jusqu'à ce que le mélange soit plus ou moins homogène. Il s'en suit l'étape de moulage et compactage. Le moule a été spécialement conçu pour permettre et faciliter le compactage manuellement et le démoulage. Enfin, le démoulage se fait instantanément juste après le compactage.

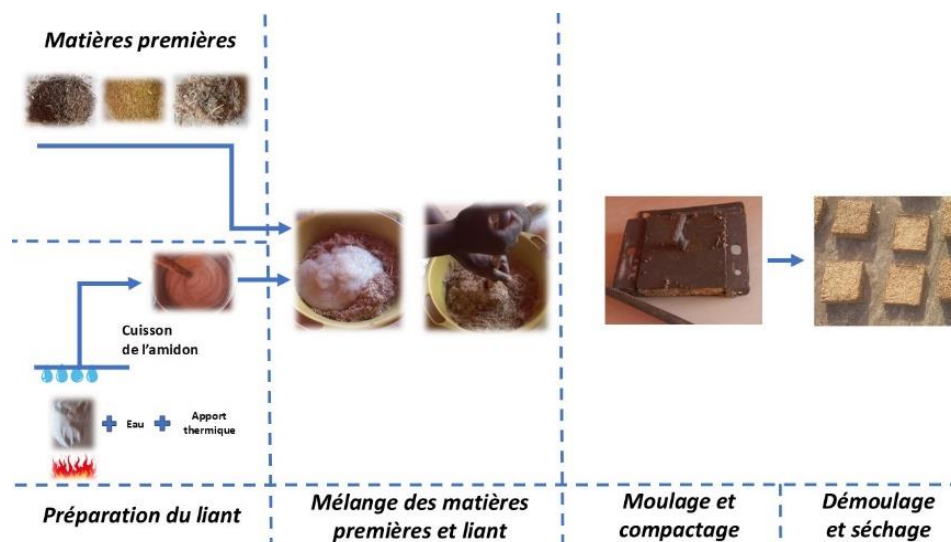


Fig. 2. Illustration du procédé

Le procédé est constitué de plusieurs étapes:

La préparation du liant, c'est un mélange eau-amidon chauffé;

La préparation du moule et des éprouvettes, ils sont faits avec des cornières et tôle en acier. Ils ont été conçus de sorte à faciliter le compactage manuellement et le démoulage immédiat.;

Pour chaque formulation, une série composée de deux éprouvettes est réalisée.

Le Ratio amidon/eau (A/E) varie de 0,13 à 0,33 [1], [2], [3], [4], [5]. Pour ce travail, le ratio est fixé à 0,2. Ce ratio peut évoluer légèrement en fonction de la charge à cause de leur caractère absorbant pour faciliter le malaxage lors de la mise en œuvre. La teneur en amidon minimale est de 25 % pour une bonne cohésion. Toutefois, cette teneur est liée au procédé de compactage manuel. Elle est maximale à 50 % pour tenir compte de certaines réalités d'ordre économique et surtout d'ordre caractéristique.

Les tableaux ci-dessous donnent les différents mélanges effectués

Ce premier groupe de formulations comprend quatre (4) éprouvettes qui sont chacun composé de typha et liant à base d'amidon avec des pourcentages variables représentés dans le tableau suivant:

Tableau 1. Composition amidon et typha

Formulation	T (%)	A (%)
F0(T)	75	25
F1(T)	71,42	28,57
F2(T)	59,52	40,47
F3(T)	50	50

NB: Pour suite, la teneur en amidon est gardée constante à 28,57 % de la masse total du mélange.

Tableau 2. Composition amidon et résidus issus de battage d'épis de mil

Formulation	A (%)	RIBEM (%)
F4(RIBEM)	28,57	71,42

Tableau 3. Composition amidon et balle de riz

Formulation	A (%)	BR (%)
F5(BR)	28,57	71,42

Tableau 4. Composition amidon, typha et résidus issus de battage d'épis de mil

Formulation	A (%)	T (%)	RIBEM (%)
F6(T, RIBEM)	28,57	59,52	11,9
F7(T, RIBEM)		47,62	23,81
F8(T, RIBEM)		40,47	40,47
F9(T, RIBEM)		23,81	47,62
F10(T, RIBEM)		11,9	59,52

Tableau 5. Composition amidon, typha et balle de riz

Formulation	A (%)	T (%)	BR (%)
F11(T, BR)	28,57	59,52	11,9
F12(T, BR)		47,62	23,81
F13(T, BR)		40,47	40,47
F14(T, BR)		23,81	47,62
F15(T, BR)		11,9	59,52

Tableau 6. Composition amidon, résidus issus de battage d'épis de mil et balle de riz

Formulation	A (%)	RIBEM (%)	BR (%)
F16(RIBEM, BR)	28,57	59,52	11,9
F17(RIBEM, BR)		47,62	23,81
F18(RIBEM, BR)		40,47	40,47
F19(RIBEM, BR)		23,81	47,62
F20(RIBEM, BR)		11,9	59,52

Tableau 7. Composition amidon, typha, balle de riz et résidus issus de battage d'épis de mil

Formulation	A (%)	T (%)	BR (%)	RIBEM (%)
F21(T, RIBEM, BR)	28,57	23,81	23,81	23,81
F22(T, RIBEM, BR)		47,61	11,9	11,9
F23(T, RIBEM, BR)		11,9	47,61	11,9
F24(T, RIBEM, BR)		11,9	11,9	47,61

2.3 MÉTHODES DE CARACTÉRISATION UTILISÉES

Les éprouvettes sont séchées au soleil avec un suivi et retournement régulier. Elles ont été conservées au laboratoire où la température variait entre 22 et 26 °C et l'humidité entre 40 et 46 %.

La caractérisation physique a consisté à la détermination de la masse volumique apparente en utilisant la méthode géométrique. Ainsi les matériels utilisés sont: balance de précision; bécher gradué; pied à coulisse; règle graduée.



Fig. 3. Caractérisation physique

Nous avons utilisé la méthode du fil chaud asymétrique [7]. Cette méthode est bien appropriée pour les matériaux biosourcés.

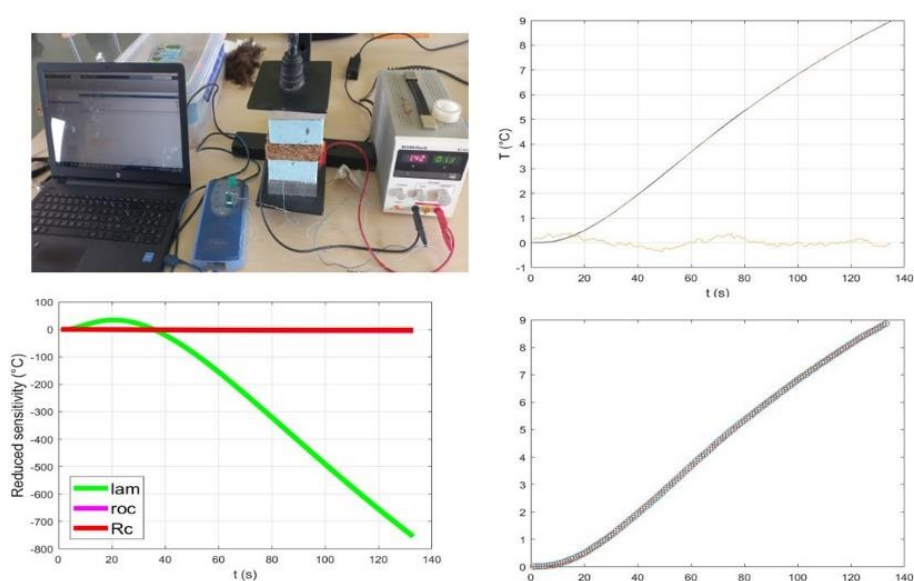


Fig. 4. Caractérisation thermique

3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Le séchage est obtenu par exposition au soleil environ 4 à 7 jours selon le temps qu'il fait. Pendant le séchage, les éprouvettes perdent environ 60 % de leur masse initiale. Il se produit aussi le phénomène de retrait. Selon la composition, ce phénomène est plus prononcé sur certaines éprouvettes que d'autres. C'est le cas des éprouvettes contenant le typha comme rapporté par [6], [7]. Ce retrait est accentué avec la teneur en amidon, car en effet plusieurs auteurs utilisant amidon comme liant ont rapporté remarquer des retraits après séchage [1], [4], [5]. La seconde remarque est la friabilité, constat aussi fait par [8] et [9]. En effet, tous les éprouvettes contenant de la balle de riz présentent ce caractère qui varie en fonction de la teneur en balle de riz. Aucun développement de moisissure n'a été remarqué.

3.1 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

Les moyennes des masses volumiques des différentes matières premières sont consignées dans le tableau suivant:

Tableau 8. Masses volumiques des différentes matières premières

Matières premières	ρ (kg/m ³) en vrac	ρ (kg/m ³) broyé	ρ (kg/m ³) tassé
Typha	-	55	116,41
Résidus issus de battage d'épis de mil	60,14	-	-
Balle de riz	115,06	-	-
Amidon (tapioca)	586,1	697,95	-

On peut remarquer que parmi les matières premières présentées, le typha broyé présente la plus faible masse volumique (55 kg/m³), tandis que l'amidon (tapioca) broyé a la plus grande masse volumique (697,95 kg/m³). La faible masse volumique de typha est due à sa structure alvéolaire avec un tissu spongieux favorisant l'emprisonnement de l'air. Les RIBEM, avec leurs constituants divers et variés et leurs géométries respectives, prennent beaucoup de volumes en laissant trop de vide, ce qui explique leur faible masse volumique. Pour la balle de riz en vrac, la masse volumique est de 115,06 kg/m³, valeur comprise dans la plage [98 kg/m³ - 150 kg/m³] rapportée par d'autres auteurs [10], [11], [12].

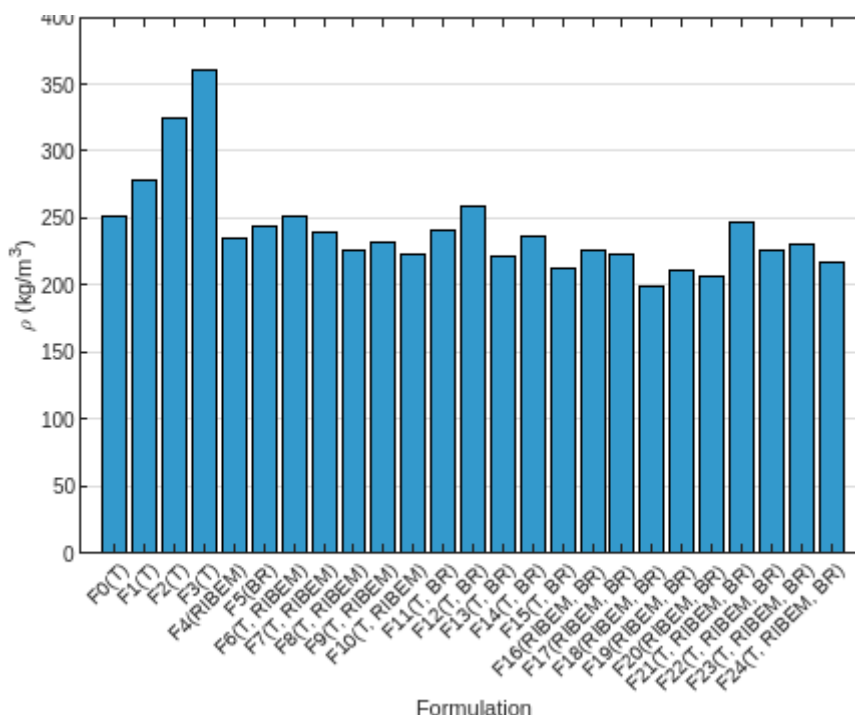


Fig. 5. Variation de la masse volumique suivant les formulations

En analysant les résultats de la figure 5 ci-dessus représentant l'histogramme de la variation de la masse volumique apparente, nous pouvons premièrement remarquer que, la masse volumique apparente du composite amidon typha augmente de façon linéaire avec la teneur en amidon. C'est l'observation faite avec les quatre premières formulations F0, F1, F2, F3, composées d'amidon et de typha. Ce qui est logique vu leur différente masse volumique apparente initiale. Il faut noter aussi que plusieurs auteurs ayant utilisés l'amidon comme liant ont notifié cette augmentation de la masse volumique apparente, c'est le cas de [1]; [13]; [3] et [5]. Par ricochet, nous avons remarqué aussi l'accroissement des propriétés mécaniques.

Avec la même teneur en amidon de 28,57 %, la composition amidon et typha présente la masse volumique apparente la plus élevée 278,35 kg/m³ qui est celle de la formulation F1, suivi de celle de la composition amidon et balle de riz constituant F5 qui est de 222,77 kg/m³ et enfin la composition amidon et résidus issus de battage d'épis de mil F5 de 201,38 kg/m³.

Par rapport aux différentes masses volumiques, on peut constater que l'élément prédominant dans la composition a tendance à imposer sa masse volumique, sauf dans le cas où il y a les deux ou trois charges à pourcentage égale dans le composite où parfois la masse volumique se retrouve soudainement inférieure aux autres masses volumiques.

Globalement la masse volumique apparente des éprouvettes varie entre 294,55 et 198,64 kg/m³ que l'on peut qualifier de faible variation, ces valeurs sont aussi à l'image des masses volumiques initiales des matières premières.

3.2 PROPRIÉTÉS THERMIQUES

Tableau 9. Composition amidon et typha

Formulation	A (%)	T (%)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
E0(T)	25	75	276,57	0,07
E1(T)	28,57	71,42	278,35	0,08
E2(T)	40,47	59,52	285,57	0,12
E3(T)	50	50	294,55	0,12

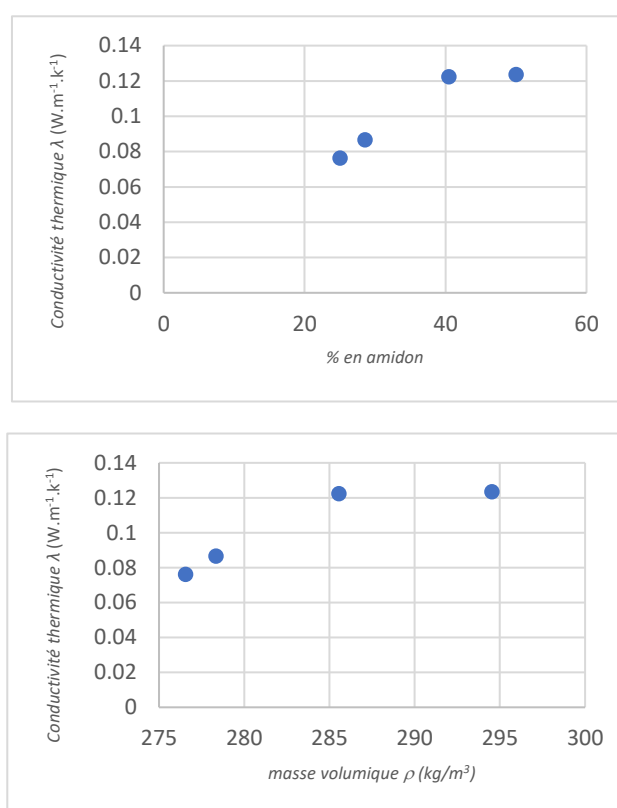


Fig. 6. Variations de la conductivité thermique, en fonction du taux d'amidon (gauche) et en fonction de la masse volumique (droit)

La teneur en amidon joue un rôle très important pour agglomérer les charges et assurer une bonne adhérence à l'interface fibres et/ou agrégats-matrice. Cela améliore la tenue mécanique, par contre il s'est avéré que plus la proportion en amidon augmente, plus la conductivité thermique et la masse volumique augmentent. Les formulations F0 (T) et F1 (T) présentent les meilleures performances. Les variations de façon globale, vont de 0,07 à 0,12 W/mK pour la conductivité thermique et de 250,73 à 361,02 kg/m³ pour la masse volumique avec une teneur en amidon allant de 25 à 50 %.

On peut retenir également que nos résultats ont des points communs avec ceux trouvés par Dieye et al. [14], travaillant sur les panneaux typha-gomme arabique. Il y a d'autres composites biosourcés dont les propriétés sont semblables à ceux de la présente étude: le composite amidon chanvre [15], [3], amidon fibres de surface des palmiers dattiers [16], amidon pulpe de betterave [5] qui à tout égard, présentent des propriétés voisines au composite amidon typha.

Par contre, pour ce qui est de la masse volumique, les valeurs obtenues dans notre cas sont pour la plupart supérieures à celles du composite chanvre amidon [1], [17], [18]. Pour [4], au vu de la nature des charges dans cette étude (fibres de bois, ouate de cellulose et granules de papier), la masse volumique obtenue est nettement supérieure à celle de la présente étude. Pour la conductivité thermique, elle est légèrement supérieure avec un petit chevauchement par rapport à la présente étude.

Nous avons vu les différentes propriétés qu'il est possible d'obtenir en faisant varier le taux d'amidon ainsi que les deux formulations présentant les meilleures propriétés. Dans la suite de ce travail, nous avons choisi de continuer les formulations avec 28,57 % d'amidon, afin d'évaluer et de comparer les propriétés physiques, thermiques pour les autres matières premières.

Tableau 10. Composition avec 25 % d'amidon

Formulation	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Typha F1(T)	278,35	0,08
Résidus issus de battage d'épis de mil F4(RIBEM)	201,38	0,10
Balle de riz F5(BR)	222,77	0,13

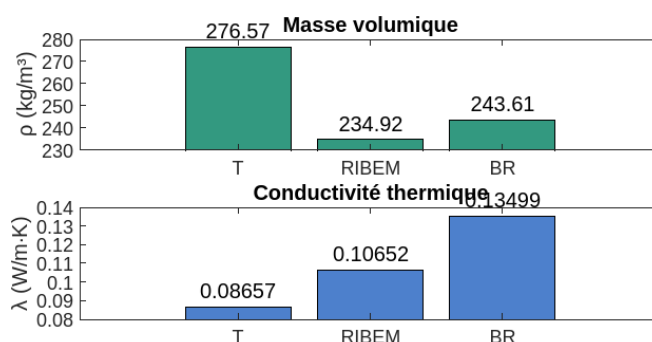


Fig. 7. Variations des différentes propriétés des composites matière première et 28,57 % d'amidon

Parmi les composites obtenus avec 28,57 % d'amidon, celui à base de typha sort du lot et présente la conductivité thermique la plus intéressante pour dire la plus faible (0,08 W/mK). Cela s'explique par l'aptitudes naturelle d'isolation thermique que possède le typha en lien avec sa structure alvéolaire et spongieuse.

Concernant la masse volumique du composite à base de typha, il faut noter qu'en présence d'eau ou d'humidité importante, le typha broyé a tendance à se ramollir et les fibres se collent entre elles en laissant un moindre vide et une partie de l'air piégé est remplacé par le liant. Cela a pour conséquence une importante augmentation de la masse volumique du composite à base de typha.

Par rapport à la plus faible masse volumique ($\rho = 234,92$ kg/m³) du composite à base de RIBEM, au regard de la nature géométrique antagoniste des constituants des RIBEM et de leur caractère non absorbant, on se retrouve avec beaucoup de vide, contrairement aux fibres de typha qui se ramollissent et se collent entre elles. Quant à la balle de riz, elle reste figée tout comme les RIBEM par rapport à la présence du liant, néanmoins l'écart entre les masses volumiques des matières premières BR et RIBEM est réduit pour les composites, car lors du collage les agrégats de BR se collent entre elles en laissant un moindre vide comme ceux de typha à l'opposé de ceux des RIBEM.

Tableau 11. Composition amidon, typha et résidus issus de battage d'épis de mil

Formulation	A (%)	T (%)	RIBEM (%)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
F6(T, RIBEM)	28,57	59,52	11,9	250,90	0,1
F7(T, RIBEM)		47,62	23,81	239,33	0,08
F8(T, RIBEM)		40,47	40,47	226,35	0,08
F9(T, RIBEM)		23,81	47,62	232,48	0,07
F10(T, RIBEM)		11,9	59,52	223,19	0,08

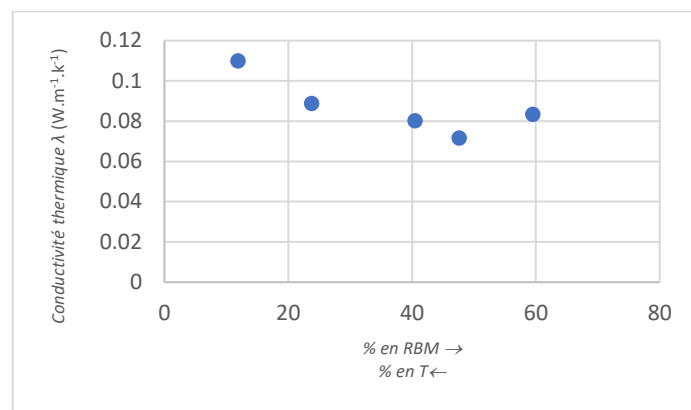


Fig. 8. Conductivité thermique en fonction de la teneur en T et en RIBEM

L'évolution de la conductivité thermique du composite amidon, typha et résidus issus de battage d'épis de mil n'est pas linéaire. Elle est comprise entre 0,07 W/mK et 0,10 W/mK, respectivement pour les formulations F9 (T, RIBEM) contenant 47,62 % de RIBEM et F6 (T, RIBEM) contenant 11,9 % de RIBEM. La valeur de la conductivité thermique obtenue avec la formulation F9 (T, RIBEM), présente la plus faible valeur de toute l'étude.

La combinaison des RIBEM et typha à des effets très positifs sur la conductivité thermique des nouveaux composites qui en découlent, car leurs conductivités se retrouvent inférieures par rapport à celles des composites faites avec une seule de ces matières premières et le liant. La répartition des fibres et agrégats dans ces composites amidon, typha et résidus issus de battage d'épis de mil, leur confère des morphologies favorables pour une utilisation comme isolant thermique.

Il faut noter qu'aussi avec ce composite, l'évolution du profil de la masse volumique est semblable à celle de la conductivité thermique. En effet, l'élément prédominant dans la composition a tendance à imposer sa masse volumique, sauf dans le cas où les deux éléments sont à pourcentage égal dans le composite, la masse volumique se retrouve inférieure aux autres masses volumiques.

En dépit du manque de connaissance des propriétés thermique intrinsèque des RIBEM, ces résultats appuient l'usage empirique comme isolant thermique qui est fait depuis très longtemps des RIBEM. Les propriétés obtenues sont comparables à celle de [19] avec le composite gousses de mil-polystyrène.

Tableau 12. Composition amidon, typha et balle de riz

Formulation	A (%)	T (%)	BR (%)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
F11(T, BR)	28,57	59,52	11,9	241,15	0,11
F12(T, BR)		47,62	23,81	259,06	0,12
F13(T, BR)		40,47	40,47	221,34	0,11
F14(T, BR)		23,81	47,62	236,95	0,11
F15(T, BR)		11,9	59,52	211,88	0,13

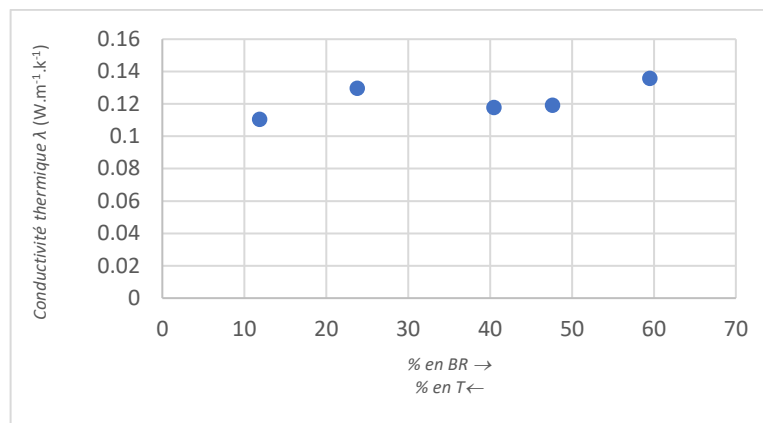


Fig. 9. Conductivité thermique en fonction de la teneur en T et en BR

Le composite amidon, typha et balle de riz présente une conductivité thermique variant entre 0,11 W/mK et 0,13 W/mK respectivement pour les formulations F11 (T, BR) contenant le moins de BR et F15 (T, BR) contenant le plus de BR. Ce qui fait de lui le composite ayant en moyenne la deuxième conductivité thermique la plus élevée dans cette étude.

Du point de vue de la conductivité thermique, nous avons remarqué que l'ajout de typha dans un composite à base de balle de riz présente une meilleure amélioration des caractéristiques thermiques que l'ajout de la balle de riz dans un composite à base de typha. La non linéarité de la conductivité avec le composite F12 (T, BR), montre que les combinaisons doivent se faire de manière structurée surtout lorsqu'on est en mode de compactage manuel. En effet, lors du compactage manuel, selon les proportions des matières premières contenues dans le composite, l'absorption de l'eau contenue dans le liant varie. De plus, la nature et la géométrie des fibres et/ou agrégats variant, il est plus aisé de mettre en forme certains composites par rapport à d'autres. Ces effets sont ressentis sur la masse volumique et sur les autres propriétés.

Nous retrouvons le même phénomène de chute de masse volumique à teneur égale. Nous pouvons conclure alors, lorsqu'il y a un composite avec plusieurs charges de nature différente, leur géométrie impacte fortement l'agencement des fibres et/ou agrégats. Cela a pour conséquence l'augmentation de la porosité qui affecte d'autres propriétés.

Selon les formulations, les valeurs de conductivité thermique obtenues sont similaires à celles du béton de balle de riz avec liant ciment de Chabi [12] et du béton de balle de riz avec liant chaux de Chabannes [11]. Malgré la nature des liants utilisés, la plus petite masse volumique obtenue par ces auteurs fait au moins le double des masses volumiques de la présente étude. L'origine de ce grand écart est la grande masse volumique de ces deux liants hydrauliques le ciment et de la chaux comparativement à l'amidon.

Tableau 13. Composition amidon, résidus issus de battage d'épis de mil et balle de riz

Formulation	A (%)	BR (%)	RIBEM (%)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
F16(RIBEM, BR)	28,57	11,9	59,52	226,39	0,12
F17(RIBEM, BR)		23,81	47,62	222,8	0,10
F18(RIBEM, BR)		40,47	40,47	198,64	0,10
F19(RIBEM, BR)		47,62	23,81	210,39	0,13
F20(RIBEM, BR)		59,52	11,9	206,96	0,12

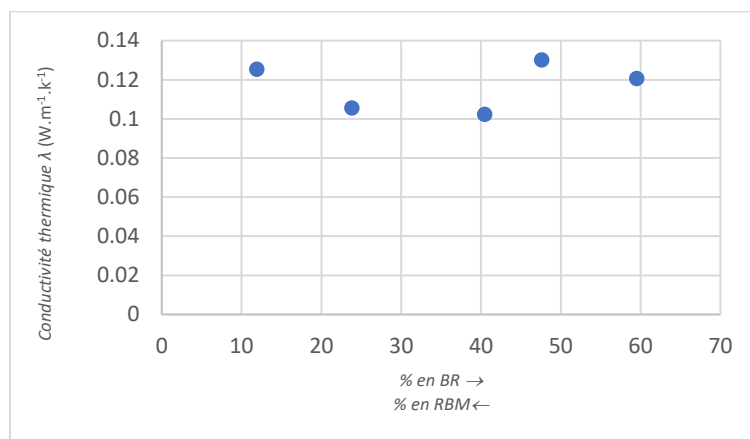


Fig. 10. Masse volumique en fonction de la teneur en RIBEM et en BR

Comme pour les deux dernières compositions présentées, la variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage massique des charges du composite formé d'amidon, de résidus issus de battage d'épis de mil et de balle de riz est non linéaire. Elle est comprise entre 0,10 W/mK et 0,13 W/mK, respectivement pour les formulations F18 (RIBEM, BR) et F19 (RIBEM, BR). Pour le comportement de la masse volumique, il s'est reproduit le même phénomène lié à l'égalité en teneur des matières premières dans la composition. La combinaison de ces matières premières améliore les propriétés thermiques, ce qui est acceptable et très intéressant par rapport aux précédents composites amidon, typha et balle de riz.

Un aspect important de ces composites est la plus faible conductivité thermique (0,10 W/mK) de la formulation F18 (RIBEM, BR) et sa masse volumique (198,64 kg/m³) qui est la plus faible de toute l'étude. Dans ce composite, la teneur en balle de riz est égale à celle en RIBEM et au vu de leur nature géométrique et de leurs caractéristiques tout à fait différentes, le composite obtenu est très poreux, engendrant une faible masse volumique. Pour rappel nous avons vu antérieurement que la taille et la forme des fibres et/ou agrégats ont un impact conséquent sur le composite obtenu.

Ces composites ont des propriétés acceptables et meilleures en se référant aux composites amidon, typha et balle de riz.

Tableau 14. Composition amidon, typha, balle de riz et résidus issus de battage d'épis de mil

Formulation	A (%)	T (%)	BR (%)	RIBEM (%)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
F21(T, RIBEM, BR)	28,57	47,61	11,9	11,9	247,5	0,16642
F22(T, RIBEM, BR)		23,81	23,81	23,81	226,16	0,09628
F23(T, RIBEM, BR)		11,9	47,61	11,9	231,16	0,17874
F24(T, RIBEM, BR)		11,9	11,9	47,61	217,05	0,11019

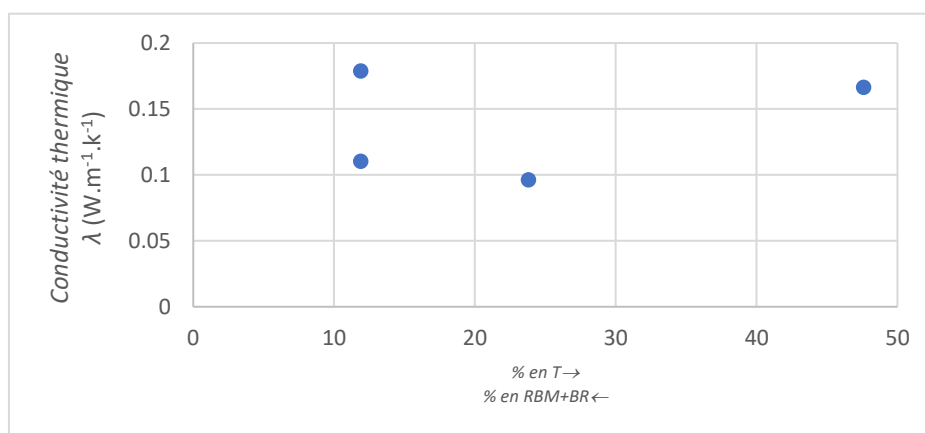


Fig. 11. Masse volumique en fonction de la teneur en T, RIBEM et en BR

Pour les composites à trois types de fibres et/ou agrégats plus liant, avec la même proportion de typha, en faisant varier la proportion de RIBEM par rapport à celle de BR, il peut s'opérer une variation conséquente de la conductivité thermique et de la masse volumique. Ici pour les formulations F23 (T, RIBEM, BR) et F24 (T, RIBEM, BR) avec la même teneur en typha de 11,9 %, juste en variant les teneurs en RIBEM de 47,61 % à 11,9 % et celles de BR de 11,9 % à 47,61 %, la conductivité thermique est passée de 0,17 W/mK à 0,11 W/mK et la masse volumique de 231,16 kg/m³ à 217,05 kg/m³. La particularité que possèdent les RIBEM d'abaisser la masse volumique des composites tout en ayant des effets positifs sur la conductivité thermique vient encore d'être mise en évidence à ce niveau. Cette dernière valeur (0,17 W/mK) de conductivité thermique est la plus grande valeur enregistrée de toute l'étude. Cette valeur est due à une importante quantité de balle de riz contenue dans le composite. Nous avons déjà vu que, lié aux caractéristiques intrinsèques des matières premières, le composite à base de balle de riz présentait la plus grande conductivité thermique.

Comme pour les précédents composites et pour les mêmes raisons, nous avons eu la meilleure conductivité thermique (0,09 W/mK) avec la formulation où les trois fibres et/ou agrégats sont à teneur égale.

Ainsi, les propriétés de ces composites combinant trois matières premières sont en corrélation avec les autres composites combinant deux matières premières, notamment le comportement de la masse volumique. On peut noter qu'il est tout à fait possible d'avoir des propriétés physiques et mécaniques très intéressantes avec ces trois matières premières pour la production des panneaux.

De façon générale, on peut remarquer une certaine asymétrie et la non linéarité des propriétés obtenues, notamment avec les formulations qui suivent les quatre premières faites d'amidon-typha. Cela peut se justifier par la nature et la teneur des fibres et/ou agrégats dans les composites, avec le concours du procédé de mise en œuvre qui est manuel. Ce procédé, étant manuel, ne permet pas d'avoir un pressage uniforme et la pression applicable manuellement est aussi très limitée.

4 CONCLUSION

Ce travail a permis l'élaboration et la caractérisation physique et thermique de nouveaux matériaux composites, isolants thermiques et légers, à partir de matières premières biosourcées localement disponibles. Tout cela à l'aide d'un procédé simple, accessible et reproductible même à l'échelle paysanne. Pour y parvenir, en amont de la préparation des matières premières (seul le typha nécessite une préparation), et la détermination des masses volumiques des matières premières, 25 formulations ont été réalisées. Ces formulations sont la combinaison d'une, de deux et/ou de trois des matières premières avec le liant. Ces formulations ont fait l'objet de caractérisation physique pour déterminer la masse volumique et la caractérisation thermique dont le focus est mis sur la conductivité thermique. Il est ressorti de ces résultats, que la masse volumique ρ sur l'ensemble des formulations varie entre 198,64 et 361,02 kg/m³. Quant à la conductivité thermique λ , elle varie de 0,07 à 0,17 W/mK, confirmant leur aptitude en tant que matériaux isolants thermiques.

REFERENCES

- [1] B. S. UMURIGIRWA-VASSEUR, «Elaboration et caractérisation d'un agromatériau chanvre-amidon pour le Bâtiment, » 2014.
- [2] Le, A. Gacoin, T. M. A. Li et M. R. e. Y. Delmas, «Experimental investigation on the mechanical performance of starch–hemp composite materials, » *Construction and Building Materials*, vol. 61, p. 106–113, 26 mars 2014.
- [3] Pundiene, L. Vitola, J. Pranckeviciene et D. Bajare, «Hemp Shive-Based Bio-Composites Bounded by Potato Starch Binder: The Roles of Aggregate Particle Size and Aspect Ratio, » *Journal of Ecological Engineering*, vol. 23, n° %12, p. 220–234, 2022.
- [4] L. M. THIEBLESSON, «Elaboration et caractérisation de matériaux issus de ressources locales recyclées ou biosourcées, » 2018.
- [5] H. Karpaky, C. Maalouf, C. Bliard, A. Gacoin, M. Lachi et G. Polidori, «Mechanical and thermal characterization of a beet pulp–starch composite for building applications, » *E3S Web of Conferences /EENVIRO 2018 – Sustainable Solutions for Energy and Environment*, vol. 85, n° %108005, p. 8, 2019.
- [6] Niang, C. Maalouf, T. Moussa, C. Bliard, E. Samin, C. Thomachot-Schneider, M. Lachi, H. Pron, T. H. Mai et S. Gaye, «Hygrothermal performance of various Typha–clay composite, » *Journal of Building Physics*, vol. 42, n° %13, p. 316–335, 2018.
- [7] DIOP, M. B. NDIAYE, H. M. Bal, M. THIAM et S. GAYE, «Thermal Characterization of Dry Soil/Typha australis Materials for Improving the Energy Performance of Buildings, » *Journal of Scientific and Engineering Research*, vol. 7, n° %112, pp. 177–184, 2020.

- [8] Neya, «Valorisation de la biomasse du Burkina faso: faisabilité de panneaux de particules à base de déchets agricoles et recherche de nouveaux biocides pour la préservation du bois à partir d'essences naturellement durables, » 2002.
- [9] S. RAMDE, «ETUDE DE FAISABILITE DE PRODUCTION D'ECO MATERIAUX D'ISOLATION THERMIQUE A PARTIR DE PAPIER USAGE - BALLES DE RIZ, » Ouagadougou, 2018.
- [10] K. Rout et A. Satapathy, «Physical and thermal characterization of rice husk filled epoxy matrix composites, » chez *International Conference on Mechanical Engineering*, Dhaka, Bangladesh, 2011.
- [11] M. Chabannes, «Formulation et étude des propriétés mécaniques d'agrobétons légers isolants à base de balles de riz et de chènevotte pour l'éco-construction, » 2015.
- [12] E. Chabi, «Étude de la Formulation et des propriétés Mécaniques et thermiques du Béton de Balles de Riz, » 2017.
- [13] G. A. L. T. M. M. R. e. Y. D. A.T. Le, «Experimental investigation on the mechanical performance of starch–hemp composite materials, » *Construction and Building Materials*, vol. 61, p. 106–113, 26 mars 2014.
- [14] Y. Dieye, P. M. Toure, P. M. Gueye, V. Sambou, S. Bodian et S. Tigampo, «Thermomechanical Characterization Of Particleboards From Powder Typha Leaves., » *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, vol. 4, n° %11, p. 306–317, 2019.
- [15] G. Balčiūnasa, S. Vėjelis, S. Vaitkus et A. Kairytė, «Physical Properties and Structure of Composite Made by Using Hemp Hurds and Different Binding Materials, » chez *11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2013 / Procedia Engineering /Published by Elsevier Ltd*, 2013.
- [16] M. E. Ali et A. Alabdulkarem, «On thermal characteristics and microstructure of a new insulation material extracted from date palm trees surface fibers, » *Construction and Building Materials*, vol. 138, p. 276–284, 2017.
- [17] D. TRAN LE, «Etude des transferts hygrothermiques dans le béton de chanvre et leur application au bâtiment, » 2010.
- [18] Bourdot, T. Moussa, A. Gacoin, C. Maalouf, P. Vazquez, C. Thomachot-Schneider, C. Bliard, A. Merabtine, M. Lachi, O. Douzane, H. Karak et G. Polidori, «Characterization of an agro-material for building envelope: influence of hemp/starch ratio and hemp shive size on physical, mechanical, and hygrothermal properties, » *energy and buildings*, vol. 153, pp. 501-512, Octobre 2017.
- [19] G. M. Houenoukpo, «Elaboration et caractérisation thermique d'un eco-matériau «gousses de mil-polystyrène», » 2021.