

BETON LEGER A BASE DE BALLE DE RIZ : ETUDE DE LA CONDUCTIVITE THERMIQUE

Valery K. **DOKO**^a, Aristide C. **HOUNGAN**^a, Edmond **ADJOVI**^a, Dany Y. **AYITE**^b, Koffi **BEDJA**^b.

^aLaboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée (LEMA)
Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC) BP. 2009 Cotonou
^bUniversité de Lomé (Togo)

RÉSUMÉ

La production du riz génère des déchets suite à la décortication. Il s'agit des balles de riz qui, si ils ne sont pas utilisés pour l'énergie, ils constituent un encombrement pour l'environnement et donc peuvent être utilisés dans la fabrication des matériaux composites. La présente étude traite de la détermination de la conductivité thermique des composites balle de riz-ciment, balle de riz-sable-ciment et sable-ciment par la méthode de "comparaison" basée sur le principe de la plaque chaude gardée. Les composites étudiés présentent les caractéristiques physiques suivantes : le composite 1, balle de riz-ciment, a une masse volumique de $889 \pm 0,10 \text{ kg/m}^3$, une porosité de $31,47 \pm 0,31\%$ et une conductivité thermique de $0,638 \pm 0,10 \text{ W/m K}$ tandis que le composite 2, balle de riz-sable-ciment, a une masse volumique de $763 \pm 0,07 \text{ kg/m}^3$, une porosité de $28,67 \pm 0,27\%$ et une conductivité thermique de $0,447 \pm 0,11 \text{ W/m K}$. Au regard des résultats, les composites de balle de riz ont une meilleure performance thermique car nous avons une réduction de la conductivité thermique de près de 51% par rapport au composite sable-ciment.

Mots clés : Balle de riz, déchets agricoles, porosité, masse volumique, performance thermique, hygroscopique

NOMENCLATURE

ρ_g	Masse volumique des balles de riz	Kg/m^3	M_f	Module de finesse	
ρ_e	Masse volumique de l'eau	Kg/m^3	λ	Conductivité thermique	W/km
P_0	Pente	K/m	T	Température	K

1. INTRODUCTION

La principale préoccupation des bâtisseurs concerne la pérennité de leurs constructions. Cette dernière était rendue possible par l'emploi de matériaux performants en termes de résistance mécanique et de durabilité. Les aspects de confort n'étaient traités qu'à posteriori. Le principe de construction reposait sur la juxtaposition de différents matériaux, chacun ayant une tâche dévolue. Cependant, cette accumulation de différents matériaux séduits de moins en moins, car ils deviennent coûteux et finissent par occuper un volume non négligeable. La tendance actuelle, dans la construction individuelle, est donc de promouvoir des produits composites capables de remplir plusieurs usages. Le bâtisseur ne cherche plus seulement la performance mécanique, mais il tente également d'améliorer d'autres qualités comme la conductivité thermique des matériaux qui relève du domaine du confort thermique. Ce changement de point de vue explique le développement récent de bétons légers, capable de jouer le rôle d'isolant, tout en conservant des niveaux de performances suffisants. Ces matériaux sont alors étudiés simultanément sur deux

thématiques : mécanique/thermique ou mécanique / acoustique. Le présent travail vise à étudier la thématique thermique d'un matériau léger à savoir balle de riz-ciment. Un second élément expliquant l'intérêt pour les bétons légers est une prise de conscience environnementale. Cette prise de conscience peut s'expliquer sur deux aspects. Les matériaux légers sont de bons isolants thermiques en raison du volume d'air qu'ils contiennent, ils permettent donc de réaliser des économies d'énergies substantielles. De plus, l'utilisation de granulats végétaux s'inscrit dans une démarche de développement durable. Elle présente l'avantage d'utiliser une matière première renouvelable, contrairement aux granulats des carrières qui sont épuisables dans le temps.

Plusieurs travaux de recherches ont faits l'objet d'étude de composites à base de balle de riz-ciment. On peut citer les travaux de S. Tamba. [1]; Jauberthie R. et al [2]; D. Ayité. [3]. Cependant ces travaux n'ont pas débouché sur l'étude des transferts thermiques des composites.

Par exemple, des travaux de S. Tamba., il ressort que les études de formulation du béton de balle de riz menées concernent les bétons de structures en béton

Houngan C. Aristide
hounaris@yahoo.fr

armé. Aussi D. Ayité et al, ont formulé des bétons dosés à 250kg/m^3 pour la production des élément remplissage porteur ou non des structures des bâtiments (parpaings et entrevous).

Les études ont montré l'existence d'une dépendance quasi-linéaire entre la conductivité et la masse volumique [4]. Boutin [5] montre qu'il est important de retenir que la présence d'eau diminue le pouvoir isolant des matériaux dans des proportions non négligeables. Le compactage, en réduisant le volume d'air inclus dans le matériau, [6] présente l'inconvénient d'augmenter sa conductivité thermique [7], [8].

Le travail présenté ici n'est pas à vocation écologiste. Il vise simplement à montrer que l'emploi de granulats végétaux peut offrir de nouvelles possibilités dans le développement des matériaux de construction.

2. CARACTERISTIQUES DES COMPOSANTS DES COMPOSITES

Les caractéristiques des bétons dépendent essentiellement de celles de leurs composants. Aussi est-il nécessaire de bien connaître les matériaux devant servir à la confection des bétons de balles de riz. Ainsi différents essais ont été effectués sur les matériaux : balles de riz, sable et ciment.

2.1 BALLES DE RIZ

La balle de riz est constituée d'une coquille en forme de fuseau, effilée aux extrémités et de forme convexe. Cette coquille est située dans le sens longitudinal et présente une surface rugueuse plus ou moins poreuse. Elle est de couleur brune. La texture est relativement fragile. La longueur moyenne des balles de riz est de l'ordre de 8 à 10mm. Les balles de riz qui serviront de granulats au cours de cette étude proviennent de la riziculture de Malanville, ville situé à environ 850 kilomètres de Cotonou, la capitale du Bénin. Les différents essais faits sur ces balles de riz sont : la densité, l'absorption d'eau et la granulométrie.

2.1.1 Composition granulaire

Cette propriété renseigne sur les quotes-parts des catégories des grains qui sont contenus dans les balles de riz. Les proportions dont les dimensions sont supérieures à 0,063 mm sont déterminées par tamisage. Quant aux proportions inférieures à 0,063 mm, leur séparation se fait par sédimentation.

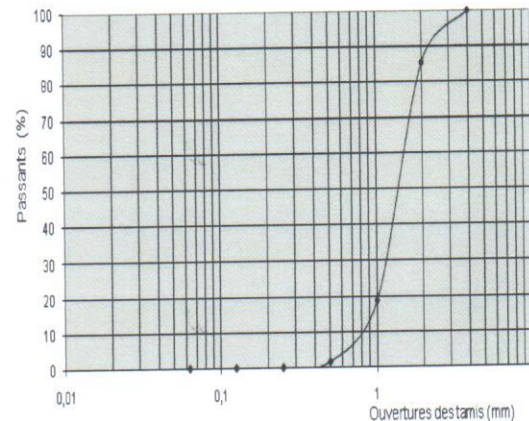


Figure 1 : Courbe granulométrique des balles de riz

Cette courbe traduit la distribution pondérale des granulats élémentaires composant ce granulat. De la composition granulaire obtenue, le module de finesse des balles de riz est déterminé à l'aide de la formule :

$$M_f = \frac{\sum m}{100} \quad (1)$$

où M_f est le module de finesse des balles de riz et la somme des pourcentages des refus cumulés sur les tamis de modules 23-26-29-32-35 et 38 (ou de diamètre 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 - 10 - 20 - 40 et 80 mm). En faisant la somme, ramenée à l'unité, des pourcentages des refus cumulés sur ces tamis, on obtient comme module de finesse des balles de riz une valeur de 3,79

2.1.1.1 Densités

La densité apparente, d , des balles de riz est déterminée à l'aide de l'expression

$$d = \frac{\rho_g}{\rho_e} \quad (2)$$

où ρ_g est la masse volumique des balles de riz sans aucun vide entre les grains et ρ_e est la masse volumique de l'eau. La densité apparente des balles de riz à l'état naturel et à l'état mouillé est respectivement de 0,101 et de 0,142.

2.1.1.2 Absorption d'eau

Pour la détermination du taux d'absorption d'eau, une masse de balles de riz fixée à 100g est introduite dans une éprouvette de 2000cm^3 . Cette éprouvette est ensuite remplie d'eau tout en étant agitée pour éliminer les bulles d'air piégées dans les concavités des balles de riz. La quantité d'eau additionnelle pour maintenir le niveau constant est mesurée en fonction du temps. Ceci a permis le tracé de la courbe cinétique d'absorption d'eau (figure2).

Les balles de riz sont hygroscopiques, du fait qu'elles absorbent beaucoup d'eau. Cette absorption, très forte

durant les premières heures, diminue lentement jusqu'à se stabiliser. Le taux d'absorption des balles de riz est d'environ 82 % en masse. Les balles de riz peuvent donc absorber une partie de l'eau de gâchage lorsqu'elles seront utilisées comme granulats à béton. Pour limiter ce phénomène, nous préconisons l'immersion de ce matériau pendant quarante huit heures (48 h) afin d'avoir un faible taux d'absorption de l'eau de gâchage.

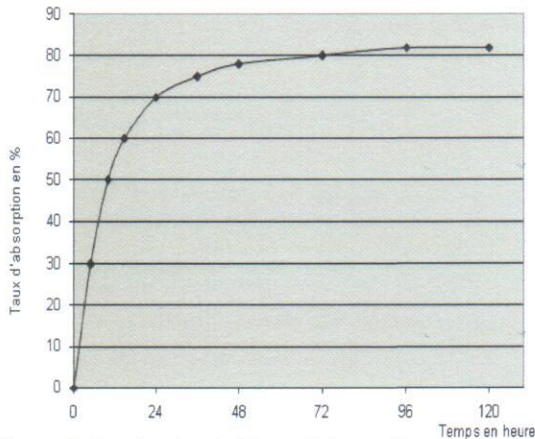


Figure 2: Courbe de cinétique d'absorption d'eau des balles de riz

2.2 CIMENT

Le ciment utilisé au cours de cette étude est le CPJ 35 produit par l'usine CIMBENIN. Après essai de compression la résistance à la compression à 7 et 28 jours sont respectivement de 27,9 MPa et 35,5 MPa

3- FORMULATION EXPERIMENTALE DES COMPOSITES

3.1 COMPOSITE N°1

Le composite ciment-balles de riz est dosé à 500 kg/m³ soit C/R= 1,28 où C désigne la masse en ciment et R la masse en balles de riz. Pour ce rapport C/R, nous retenons le rapport E/C = 0,40 avec E la masse de l'eau

3.2 COMPOSITE N°2

La formulation du mortier sable ciment est le suivant:

- Rapport (en volume) ciment/sable: 1/6 (250 kg/m³ de mortier);
- Rapport (volume) ciment/eau: 1/1.

4- CONFECTION ET CONDITIONNEMENT DES EPROUVETTES

Différents essais ont été réalisés pour caractériser nos composites, il s'agit de: la masse volumique, le taux d'humidité et la porosité. Après avoir collé convenablement à l'aide de la graisse de silicone le plexiglas à l'une des faces du composite, on insère les thermocouples dans les trous de diamètre 1mm préconçus dans le plexiglas et dans le composite. Les éprouvettes qui ne sont pas soumises immédiatement à l'essai de conductivité sont enroulées dans du papier

aluminium afin d'éviter l'influence extérieure sur les caractéristiques physiques définies. Les caractéristiques physiques de nos éprouvettes étudiées sont résumées dans les tableaux 1 et 2.

Tableau1 : Caractéristiques physiques des éprouvettes du composite N°1

Eprouvettes	Masse volumique (g/m ³)	Taux d'humidité %	Porosité %
Eprouvette11	0,932	11,43	31,21
Eprouvette12	0,903	10,42	31,56
Eprouvette13	0,832	10,32	31,65
Eprouvette14	0,943	11,47	30,83
Eprouvette15	0,880	10,35	30,96
Eprouvette16	0,917	11,38	31,15
Moyenne	0,901	10,89	31,22
Ecart -type	0,112	1,62	0,83

Tableau2 : Caractéristiques physiques des éprouvettes du composite N°2

Eprouvettes	Masse volumique (g/m ³)	Taux d'humidité %	Porosité %
Eprouvette21	2,11	4,38	8,84
Eprouvette22	2,15	4,24	7,96
Eprouvette23	2,19	4,35	8,86
Eprouvette24	2,37	4,62	8,72
Eprouvette25	2,29	4,53	8,64
Eprouvette26	2,21	4,37	8,64
Moyenne	2,22	4,41	8,64
Ecart type	0,264	0,38	0,95

5- MESURE DE LA CONDUCTIVITE THERMIQUE DES COMPOSITES

Pour une meilleure connaissance des propriétés thermophysiques des composites mis au point, on a mesuré en régime permanent la conductivité thermique en soumettant les échantillons à un gradient de température. Pour un matériau donné, l'intervalle de variation de la conductivité est assez large et dépend de plusieurs facteurs, dont la température et la teneur en eau. La connaissance de cette propriété est surtout utile pour le calcul de la résistance thermique des éléments de construction.

La mesure du coefficient de conductibilité thermique est assez délicate ; elle nécessite une longue durée d'expérimentation et une régulation précise de différents paramètres. Généralement, pour les méthodes de mesure de conductivité thermique, il faut d'abord déterminer le flux ou le champ thermique à partir des mesures de variation de température en différents points du matériau étudié et ce, selon les domaines de températures prédéfinis.

Le dispositif expérimental utilisé est celui mis au point à l'Ecole Polytechnique d'Abomey – Calavi (figure 3), Bénin, et qui s'appuie sur l'exploitation du Champ Thermique en Régime Stationnaire [9- 10- 11]. La méthode utilisée dite méthode de " Comparaison " ou du " Plexiglas Etalon " repose sur le principe de la méthode classique de la plaque chaude gardée.



Figure 3 : Dispositif expérimental

La température de la face externe de la plaque-éprouvette de référence est maintenue à la température de consigne T1 au moyen d'une plaque isotherme (35 x 35 x 1,5 cm³) associée à un régulateur. La face externe de la plaque-éprouvette étudié est en contact avec la paroi d'un échangeur dans lequel circule de l'eau. On fait l'hypothèse que sa température est constante et est maintenue à T2. Les deux éprouvettes thermiquement en série sont ainsi soumises à une différence de température entre les deux faces externes. L'une des plaques étant choisie comme éprouvette de référence de conductivité connue λ_0 la connaissance du champ thermique en régime permanent dans l'éprouvette permet de remonter à la conductivité λ_x de la plaque testée.

Les hypothèses formulées pour l'expérimentation sont :

- ✓ matériaux isotropes et homogènes
- ✓ conductivité thermique $\lambda = \text{Constante}$
- ✓ le transfert de chaleur est supposé unidirectionnel
- ✓ les températures T1 et T2 des faces de l'échantillon sont imposées
- ✓ les faces latérales de l'échantillon sont isolées (voir figure 5)

La conductivité thermique se calcule par la formule :

$$\lambda_x = \lambda_0 \cdot (\text{grad}T)_0 / (\text{grad}T)_x \quad (3)$$

Les valeurs des gradients $(\text{grad}T)_0$ et $(\text{grad}T)_x$

ont été approximés pour chacun des éprouvettes par la

valeur de la pente de la meilleure droite de régression linéaire.

En posant $P_0 = (\text{grad}T)_0$ et $P_x = (\text{grad}T)_x$, on a donc :

$$\lambda_x = \lambda_0 \cdot (P_0 / P_x) \quad (4)$$

Chaque essai a fait l'objet de deux thermogrammes, l'un relatif au plexiglas (matériau de référence) et à l'éprouvette composite étudiée (figure 6 et figure 7).

Le calcul de la conductivité thermique des composites est obtenu à l'aide de l'équation (4), et les résultats sont consignés dans le tableau 3 et le tableau 4.

Le traitement des données notamment le tracé graphique des courbes donnant le champ thermique $T = f(x)$, la droite de régression et le calcul de la conductivité, est fait sur l'ordinateur grâce à l'exploitation du logiciel « EXCEL 2007

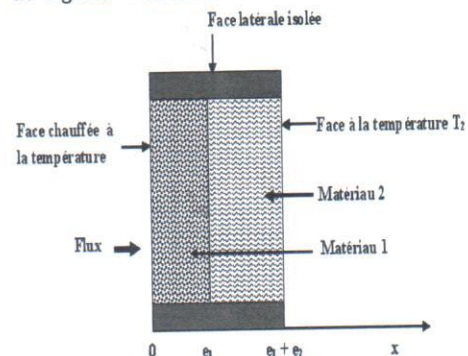


Figure 4 : Schéma du modèle mathématique [12]

Tableau 3 : Conductivité thermique des Éprouvettes du composite N°1



Figure 5 : éprouvette de mesure

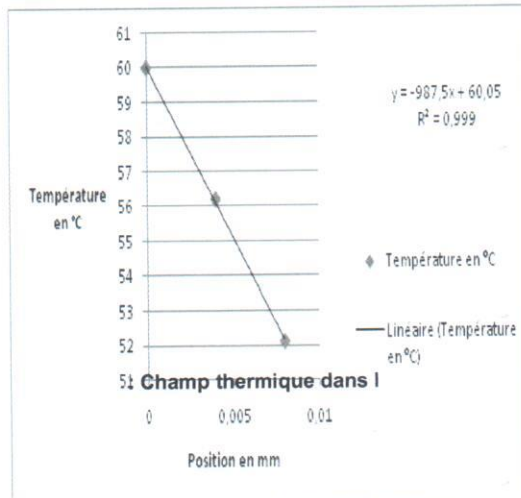


Figure 6: Champ thermique dans le matériau témoin (plexiglas)

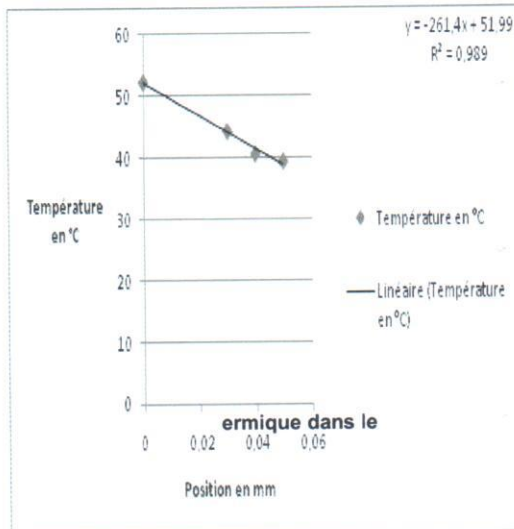


Figure 7 : Champ thermique dans le composite1

thermique des

Eprouvettes	Conductivité thermique (W/mK)
Eprouvette11	0,695
Eprouvette12	0,673
Eprouvette13	0,546
Moyenne	0,638
Ecart-type	0,100

Tableau 4: Conductivité thermique des éprouvettes du composite N°2

thermique des éprouvettes du

Eprouvettes	Conductivité thermique (W/mK)
Eprouvette21	1,06
Eprouvette22	1,14
Eprouvette23	1,70
Moyenne de littérature nous donne	1,00
Ecart-type	0,48

quelques valeurs de

La revue de littérature nous donne quelques valeurs de la conductivité thermique de certains matériaux de construction. Ainsi la brique de mortier de sable ordinaire a une conductivité thermique de 1,15 W/mK [4]; le béton hydraulique, une conductivité thermique de 1,8 W/mK [4]; le béton de mortier de terre stabilisée, une conductivité thermique de 0,8 W/mK [20] et le béton d'argile expansée; une conductivité de 0,46 W/mK [4]. Les composites étudiés à savoir balle de riz-ciment et sable-ciment ont respectivement une conductivité thermique de 0,638 W/mK et 1,30 W/mK. La valeur de 0,638 est bien inférieure à celles des matériaux cités plus haut. D'après les résultats obtenus et au regard des propriétés physiques, on constate que la conductivité thermique augmente avec l'augmentation du taux d'humidité et de la masse volumique, et elle diminue par contre avec l'augmentation du taux de porosité du composite.

6-CONCLUSION

Le présent travail dont toutes les expérimentations ont été menées de manière complémentaire dans le laboratoire LEMA de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi a permis de:

- réaliser des produits composites à partir de granulats végétales, les balles de riz ;
- mesurer et apprécier l'influence de la masse volumique, du taux d'humidité et de la porosité sur la conductivité thermique. Ainsi :
 - o plus les composites contiennent d'eau, plus ils conduisent la chaleur ;

REFERENCES

- [1] Tamba S., Bétons légers à base des déchets celluloseux, Thèse pour l'obtention du doctorat, INSA de Rennes, Rennes - France, 2001.
- [2] Jauberthie R., Rendell F., Tamba S. et Cissé I. K., Rice husk in lightweight mortars, 2000.
- [3] Ayité D., Caractérisation des bétons à base de balles de riz au Togo, Thèse pour l'obtention du doctorat de l'Université de Lomé, Togo, 2011.
- [4] Lawson B. Autoclaved Aerated Concrete, CEB manual of design and technology. Lancaster England, The Construction Press Ltd., 1978.
- [5] Boutin C., Conductivité thermique du béton cellulaire autoclavé: modélisation par méthode autocohérente. Matériaux et Constructions, 29, 1996.
- [6] Nguyen T.-T., Picandet V., Amziane S., Baley C. Influence of compactness and hemp hurd characteristics on the mechanical properties of lime and hemp concrete, Orgagec'08-Third European Symposium "Organic materials for construction: Technical and environmental performances", Paris, Marne-la-Vallée (France), 27-28-29 August 2008a.

- o plus les produits composites contiennent d'éléments fins, plus ils conduisent la chaleur.

De tout ce qui précède, nous pouvons retenir que la fabrication des matériaux composites à base de balle de riz, en plus de son avantage environnemental et de valorisation des déchets, ouvre la voie à leur utilisation dans l'habitat en vu d'un meilleur confort thermique.

- [7] Cérézo V., Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales : approche expérimental et modélisation théorique. Thèse Génie Civil. Lyon : Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005.
- [8] Elfordy S., Lucas F., Tancret F., Scudeller Y., Goudet L. "Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete (« hempcrete ») manufactured by a projection process". Construction and Building Materials, Vol 22, 10, pp. 2116-2123, 200.
- [9] Cordier C., Caractérisation thermique et mécanique des bétons de chanvre: rapport de stage de fin d'études Ecole doctorale MEGA. Vaulx-en-Velin: ENTPE, 1999.
- [10] M. Conte, A. Giradey, P. Bilodeau et R. Beaulieu, Métrologie thermique, Les Editions le Griffon d'Argile, 1986.
- [11] Fannou J. L., Contribution à la mesure de la conductivité thermique des matériaux locaux de construction, Mémoire de DEA SPI, Université d'Abomey-Calavi, 2002.
- [12] Houngan A., Caractérisation hygrothermique des matériaux locaux de construction au Bénin: diffusivité massique et isotherme de sorption, conductivité et diffusivité thermique, Thèse de doctorat de l'université de Nancy, 2008.