

Etude d'un béton à base de matériaux locaux et de déchets de palmiers dattiers

Madani BEDERINA^{*1}, Aissa BOUCEDRA^{#2}, Zoubir MAKHLOUFI^{#3}, MERRAH Ahmed^{#4}

^{1,2,3} Structures Rehabilitation and Materials Laboratory (SREML), University Amar Telidji, Laghouat, Algeria.

⁴Laboratoire de Génie Civil, Université Amar Têlidji, Laghouat, Algérie

m.bederina@lagh-univ.dz

aissardm@gmail.com

z.makhloufi@lagh-univ.dz

a.merrah@lagh-univ.dz

Résumé— Des travaux précédents ont porté sur le développement de nouveaux bétons, renforcé par ajout de fibres de palmiers dattiers (déchets de végétaux), pour une éventuelle utilisation en isolation, thermique et acoustique dans les constructions locales. Il est à rappeler que les fibres végétales sont largement disponibles et se caractérisent par une bonne résistance aux réactions chimiques et un faible coût. Selon la longueur des fibres (10 à 40 mm) et leur proportion dans le béton (0,5 à 2%), des études antérieures ont montré que ces bétons pourraient être considérés comme une bonne alternative aux matériaux de construction actuellement usuels et pourraient résoudre certains problèmes économiques, techniques et écologiques dans la construction locale. En effet, dans ce présent travail, on s'est intéressé à la l'étude des propriétés acoustiques (coefficient d'absorption acoustique et le coefficient d'atténuation du bruit) de ce nouveau béton. Les résultats ainsi obtenus ont montré que, certes, la résistance à la compression du béton étudié diminue avec l'ajout de fibres végétales, mais il est toujours possible de formuler un nouveau béton léger avec d'autres propriétés intéressantes. Selon la teneur en fibres et selon leur longueur, l'obtention de bonnes performances acoustiques est en fait possible. Des nettes augmentations du coefficient d'absorption acoustique et du coefficient d'atténuation du bruit ont été enregistrées.

Mots clés— Béton léger, Béton de fibre, Fibres de palmiers dattiers, Propriétés acoustiques.

I. INTRODUCTION

Protéger l'environnement de toutes sortes de déchets est actuellement le souci de tout le monde. Aujourd'hui, très

peu de fibres naturelles, telles que le plastique, le bois, le métal, etc., sont recyclées. En effet, le recyclage des matériaux naturels (sous forme de fibres), contribue à la protection de notre environnement [1,2]. Ce qui nous incite à utiliser certaines fibres issues de déchets naturels, est bien leur disponibilité, leur facilité de séparation, leur biodégradabilité, leur grande durabilité, leur faible densité, leur faible coût, etc. [3]. L'utilisation de ces fibres dans la construction est très intéressante, car ceci permet de jouer un double rôle important ; d'une part, la résolution des futurs problèmes environnementaux [4], et d'autre part, le développement d'un nouveau matériau de construction [5]. Rappelons que les matériaux cellulaires et fibreux ont déjà montré de bonnes propriétés acoustiques [6,7]. Certes, les bétons et mortiers actuels ont été renforcés par ajout de différents types de fibres afin de leur conférer certaines propriétés, mais l'utilisation de ces types de fibres est devenue très coûteuse, comparée à celle des fibres végétales. Parmi les fibres végétales intéressantes, on peut citer les fibres de palmiers, qui sont disponibles localement en abondance. Par ailleurs, notons que les fibres végétales sont issues de sources renouvelables qui leur permettent de constituer de bonnes alternatives en faveur du développement durable, en élaborant des bétons légers plus économiques et pouvant présenter de meilleures caractéristiques [8-10]. Le renforcement en fibrociment cellulosique produit un matériau composite qui peut être utilisé dans une grande variété d'applications, telles que les tôles de toiture, les tuyaux, les revêtements muraux et d'autres applications intérieures. Des études [11] ont montré que le ciment composite renforcé de fibres de cellulose a une résistance à la traction relativement bonne. De plus, les fibres de palmiers dattiers peuvent

fournir une meilleure isolation thermo-acoustique, par rapport à d'autres fibres utilisées, telles que les fibres de verre.

La disponibilité des palmiers dattiers à travers le vaste désert algérien est une belle opportunité pour développer ce type de matériau de construction isolant et économique. En effet, de nombreuses recherches se sont focalisées sur l'étude des propriétés physico-mécaniques de ce type de béton fibreux, [8,9,12,13], mais en termes des caractéristiques acoustiques, la recherche reste très timide. En effet, les fibres de palmiers dattiers peuvent apporter une meilleure isolation phonique que celle d'autres fibres minérales qui sont actuellement utilisées dans certaines applications, comme les plafonds, les murs, etc.

Par ailleurs, l'ajout de fibres de palmiers au béton entraîne une modification considérable de son comportement rhéologique à l'état frais. Lorsque des fibres de palmier, avec un rapport longueur/diamètre et une teneur élevés, sont utilisées, la perte de maniabilité est plus importante [14].

Mais, comme pour l'isolation acoustique, l'effet de l'introduction de fibres de palmiers dattiers recyclées dans une matrice cimentaire semble encore méconnu. Il semble que ce composite produise, peut-être, des absorbeurs de bruit pour éliminer les perturbations sonores. C'est dans ce contexte que cet article a été considéré ; il s'agit de développer un nouveau matériau acoustiquement absorbant, composé de béton et de fibres de palmier dattier recyclées. A cet effet, des essais en laboratoire ont été réalisés sur différentes compositions de béton allégé par ajout de fibres de palmiers dattiers, afin d'analyser l'effet, à la fois, de la proportion de fibres et de leurs longueurs sur les propriétés physico-mécaniques de ce type de béton léger, notamment ses caractéristiques acoustiques.

Par conséquent, le présent travail a pour objectif d'étudier la possibilité d'utilisation des déchets de palmiers dattiers, comme fibres, dans le béton à la place des fibres conventionnellement utilisées. Après une caractérisation générale, il étudie particulièrement les propriétés acoustiques du béton à base de fibres de palmiers dattiers, ce qui constitue la nouveauté de cette étude. Il s'agit donc d'un important projet de recyclage de déchets et de valorisation des matériaux locaux.

I. MATERIAUX ET METHODES

II. Matériaux

Un ciment Portland algérien ordinaire CPA-CEM I 42,5 a été utilisé comme liant. Ce ciment est caractérisé par une densité de 3220 g/cm^3 , une finesse Blaine de $3275 \text{ cm}^2/\text{g}$ et une résistance à la compression à 28 jours de 45.8 MPa. Ses caractéristiques chimiques, sont données dans le tableau I. D'après ce tableau, il ressort bien que le ciment utilisé présente de bonnes propriétés mécaniques, ce qui confèrera une bonne résistance mécanique au béton de ciment étudié.

TABLEAU I
COMPOSITION CHIMIQUE DU CLINKER (%)

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl	Na ₂ O	LI*
20,16	5,54	4,54	62,97	0,62	2,66	0,001	0,18	0,87

*LI : Perte au feu

Le sable utilisé, dans tous les mélanges étudiés, est un sable alluvionnaire (0/5) provenant des carrières d'Oued M'zi situées dans la région de Laghouat (Algérie). Ses caractéristiques physiques sont présentées dans le tableau II. C'est un sable moyen et propre présentant une distribution granulométrique étalée.

TABLEAU II
PROPRIETES PHYSIQUE DU SABLE UTILISE

Masse Vol. app. [kg/m ³]	Masse Vol. abs. [kg/m ³]	Module de finesse
1490	2575	2.5

Le gravier utilisé est de classe 8/15mm et se caractérise par une densité apparente de 1317 kg/m^3 et une densité absolue de 2791 kg/m^3 . Il est principalement constitué de calcaire blanc compact et dur.

Les fibres utilisées sont des fibres végétales issues des palmiers dattiers. La figure 1 montre leur aspect général, tel qu'ils se présentent dans la nature. Il est à noter que ces fibres sont inutilisées et inexploitées ; elles constituent une source renouvelable de matériaux naturels à faible coût qui peuvent être utilisés comme matériaux de construction. Après les avoir coupées, les fibres de palmiers sont lavées pour enlever toute poussière ou impureté pouvant exister sur leur surface. Ensuite, celles-ci sont séchées, puis coupées en courtes fibres, selon la longueur requise. Il est à noter qu'il n'y a pas une grande différence entre le diamètre max et le

diamètre min dans un mélange de fibres : pour les fibres utilisées, le diamètre ne varie qu'entre 0,2 et 1 mm, comme on le voit sur la figure 1. Les caractéristiques physiques et mécaniques de ces fibres sont présentées dans tableau III.



Figure 1 Fibres de palmiers dattiers utilisées

TABEAU III

PROPRIETES PHYSIQUE DES FIBRES DE PALMIERS DATTIERS UTILISEES

Propriétés	Values
Masse vol. app. (kg/m ³)	1085
Masse vol. abs. (kg/m ³)	1535
Absorption d'eau après 24 h (%)	72
Résistance à la traction (MPa)	105
Module de Young (GPa)	2.4
Elongation (%)	4.3

A. Méthodes

• Préparation des échantillons

La préparation du mélange (sable, gravier, fibres, ciment et eau) est inspirée de la méthode proposée par ACII 544 [15]. Par ailleurs, pour la formulation du Béton Armé de

Fibres Végétales, la méthode retenue a été celle du Béton Armé de Fibres Métalliques [16,17].

Une fois le béton frais préparé, nous commençons à remplir les moules. Chaque moule est rempli en deux couches. Chaque couche est soumise à une vibration moyenne et uniforme au moyen d'une table vibrante. L'excédent de béton est ensuite enlevé et la surface est nivelée. Le processus de démoulage est réalisé, 24 heures après le coulage du béton et les échantillons sont conservés, jusqu'au jour de l'essai, dans des conditions climatiques ($T=20\pm 5^{\circ}\text{C}$ & $\text{HR}=50\%$), supposées proches de celles des chantiers locaux.

Avant de passer à l'étude du béton à base de fibres végétales, il était nécessaire de trouver une composition optimale pour ce composite. Les proportions 'Sable' et 'Gravier' ont été déterminées de façon que le squelette granulaire soit le plus optimal possible. De même, on a veillé à ce que les bétons étudiés aient la même maniabilité et le même rapport « Eau/Ciment » (E/C). Pour chaque composition étudiée, le rapport « E/C » a été fixé à la valeur couramment utilisée dans le béton ordinaire, soit $E/C = 0,5$. Notons que, selon les recherches de GORISSE [18], le rapport « S/G » (Sable/Gravier) optimal est compris entre 0,5 et 0,8. Pour déterminer le rapport « E/C » optimal, le dosage du ciment a été déterminé, puis les quantités de sable et de gravier ont été modifiées. Pour chaque rapport « S/G » considéré, la quantité de sable a été fixée, cependant la valeur de la quantité de gravier correspondante a été calculée. Pour la composition de référence (sans fibres), la teneur en ciment a été fixée au dosage couramment utilisé dans le béton ordinaire, soit $C=350\text{kg/m}^3$.

Pour en déduire la composition granulaire optimale du béton sans fibres, il a fallu tracer la courbe « Affaissement » en fonction du rapport « S/G »

Pour déterminer la composition granulaire optimale (sable, gravier) pour des teneurs massiques en fibres végétales de palmiers dattiers (de 0 à 2%) et pour différentes longueurs de fibres (de 10 à 40 mm), il a fallu déduire le rapport "S/G" optimal des courbes « Affaissement »/« S/G ».

Notons enfin que la proportion de fibres dans le béton a été variée de 0 à 2 % en masse (Tableau IV). Le rapport « S/G » et la valeur d'affaissement ont été contrôlés à chaque fois qu'un pourcentage de fibres est ajouté.

Il est à noter que, dans les composites cimentaires, la proportion de fibres ne doit pas être très élevée [19,20], car des teneurs plus élevées affectent négativement la maniabilité du béton et par conséquent ses caractéristiques mécaniques [21].

- *Techniques Expérimentales*

Le principal essai en relation avec le présent article est bien l'essai acoustique. Les mesures des propriétés acoustiques ont été effectuées selon la norme ASTM C-384 [22] (Figure 2a) sur des échantillons cylindriques de 60 mm de rayon et 20 mm de hauteur (Figure 2b).

Un haut-parleur a été utilisé pour produire une onde sonore à l'une des extrémités d'un tube à essai.

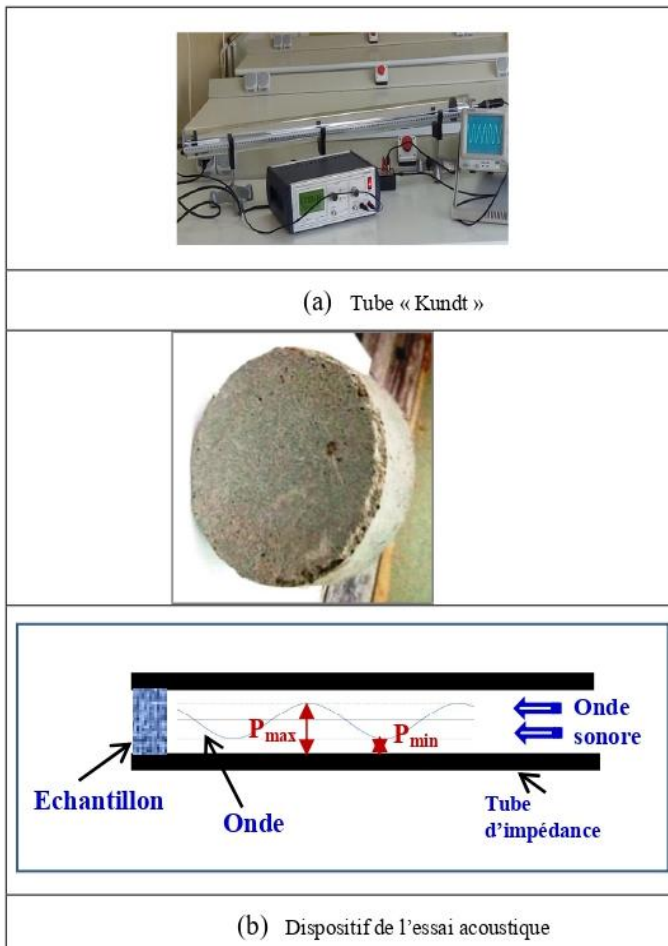


Figure 2 Mesure des propriétés acoustiques

L'autre extrémité du tube à essai a été fermée par l'échantillon d'essai cylindrique, comme le montre la figure 2c. Par conséquent, une onde stationnaire est développée dans le tube à essai en raison de la réflexion des ondes des deux extrémités. Ensuite, le rapport (n), entre la pression maximale et la pression minimale dans le tube, est déterminé afin de calculer le premier paramètre acoustique qui est le « *coefficient d'absorption acoustique* (α) ». Notons que l'énergie absorbée par le tube peut être négligée par rapport à celle absorbée par l'éprouvette. Pratiquement, la pression

maximale (P_{max}) et la pression minimale (P_{min}) dans le tube ont d'abord été mesurées, puis les équations (1) et (2) ont été utilisées pour calculer le coefficient d'absorption acoustique (α).

$$n = \frac{P_{max}}{P_{min}} \quad (1)$$

$$\alpha = 1 - \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \quad (2)$$

Enfin, le *coefficient de réduction de bruit (NRC)* est facilement calculé ; ce dernier est défini comme la moyenne des coefficients d'absorption acoustique fréquentiels (arrondis au %) enregistrés aux fréquences suivantes : 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz et 2000 Hz.

I. RESULTATS ET DISCUSSIONS

II. Caractérisation générale

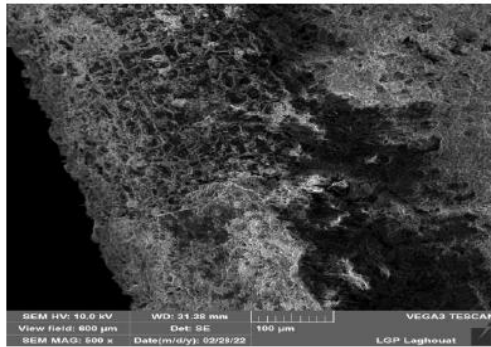
* Il a été montré que les fibres de palmiers dattiers utilisées présentent de bonnes propriétés physico-mécaniques (Tableau IV): une faible densité qui contribuera à l'allègement du béton étudié et une résistance à la traction élevée.

** Selon le tableau IV, il apparaît clairement que la densité du béton étudié diminue avec l'augmentation du pourcentage des fibres et augmente avec la diminution de leur longueur. Par rapport au béton témoin, on constate que, plus la proportion de fibres dans le béton est élevée, plus sa densité est faible [7,23]. C'est, en effet, la porosité spécifique des fibres, ainsi que cette porosité supplémentaire qui rendent le béton étudié plus léger [24].

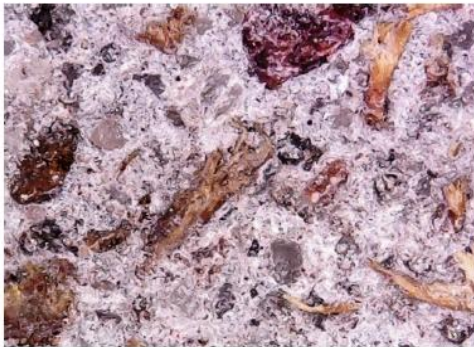
• *** Il est également clair que la diminution de la densité du béton, due à l'ajout de fibres végétales, a entraîné la diminution de ses propriétés mécaniques. La longueur des fibres, leur diamètre, leur rapport d'aspect des fibres longueur/diamètre (l/d), etc., ont également une influence sur la résistance mécanique [25]. La résistance à la compression diminue avec l'augmentation de la proportion des fibres dans le béton et diminue également avec l'augmentation de la longueur des fibres. Par ailleurs, il faut noter que les résultats expérimentaux obtenus montrent clairement l'efficacité des fibres pour améliorer la résistance à la flexion du béton [26]. Concernant la microstructure du béton étudié, on note la bonne compatibilité et adhérence entre les fibres de palmiers dattiers et la matrice cimentaire. On note également que le mélange apparaît relativement homogène et compact, sans fissures notables (Figure 3).

TABLEAU IV
VARIATION DE LA DENSITÉ DU BÉTON EN FONCTION DE LA
TENEUR ET LA LONGUEUR DES FIBRES DE PALMIERS DATTIERS
[26]

Longueur des fibres (mm)	Pourcentage mass. en fibres (%)	Densité	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la flexion (MPa)
Béton de Référence	0	1.45	40.0	11.0
20	1	1.424	27.0	12.5
	2	1.408	19.0	15.0
40	1	1.403	22.0	14.2
	2	1.370	12.0	16.8



(a) Image MEB – (G=500x)



(b) Photos au microscope optique

Figure 3 Microstructure du béton étudié.

A. Propriétés acoustiques

L'acoustique des bâtiments devient désormais un élément crucial dans le processus de planification d'un bâtiment moderne. En pratique, les bruits peuvent être séparés en deux types distincts : les bruits extérieurs et les bruits intérieurs [26]. Chacun d'eux nécessite une isolation spécifique pour le bâtiment. Pour améliorer le niveau de confort acoustique contre le bruit et les bruits forts, les murs des bâtiments doivent être en matériau

acoustiquement isolant. L'isolation contre le bruit extérieur peut être obtenue grâce à l'utilisation de béton dans les murs extérieurs. Quant à l'isolation contre le bruit intérieur, elle peut être assurée par l'utilisation de matériaux à haut pouvoir d'absorption acoustique. Par ailleurs, le renforcement d'un béton cimentaire avec des fibres végétales de palmier a donné de bonnes satisfactions au niveau de certaines propriétés physico-mécaniques; est ce bien le cas pour les propriétés acoustiques ? C'est bien l'objet du présent travail. Deux paramètres acoustiques vont être, en effet, déterminés : le *coefficient d'absorption acoustique* (α) et le *coefficient d'affaiblissement acoustique* (NRC). Notons que de nombreux facteurs affectent les paramètres acoustiques, tels que la taille des cellules, la porosité, la densité du matériau et son épaisseur, car un matériau épais donne un coefficient d'absorption acoustique maximal aux hautes fréquences.

B. a- Coefficient d'absorption acoustique (α)

Les résultats expérimentaux du coefficient d'absorption acoustique obtenus pour le béton fibré étudié (pour $L_f=10\text{mm}$ et $L_f=40\text{mm}$), sont montrés sur les Figures 4 et 5.

Il est clair que le coefficient d'absorption acoustique augmente avec l'augmentation du pourcentage massique de fibres dans la matrice [27]. Il augmente également avec l'augmentation de la fréquence. Il faut noter que ces augmentations sont plus nettes dans le cas de la présence de fibres dans le béton. Le béton témoin a présenté les valeurs les plus basses du coefficient d'absorption acoustique, dans tous les cas.

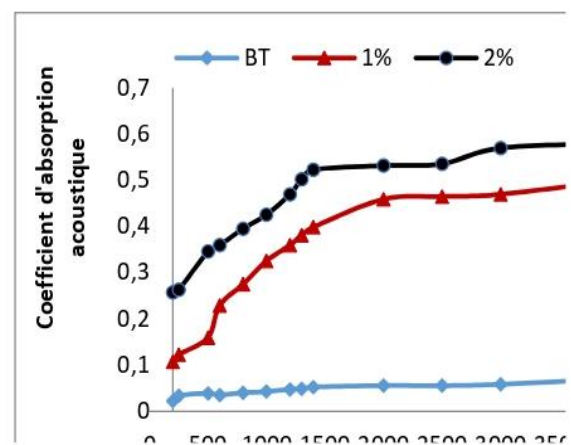


Figure 4 Variation du Coefficient d'absorption acoustique en fonction de la fréquence pour $L_f=10\text{mm}$ [26]

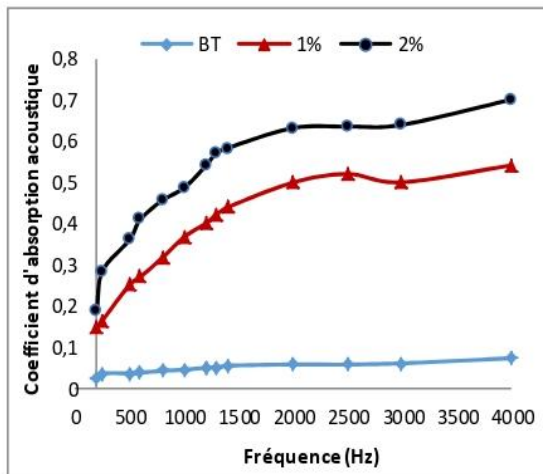


Figure 5 Variation du Coefficient d'absorption acoustique en fonction de la fréquence pour $L_f=40\text{mm}$ [26]

Les valeurs du coefficient d'absorption acoustique (α) variaient entre 0,01 et 0,05 avec une tendance à augmenter avec l'augmentation de la fréquence. Les composites avec un pourcentage en masse de 0,5 % de fibres végétales de palmiers avaient une absorption acoustique relativement plus faible. Par contre, il a été noté que les composites à 2% de fibres végétales de palmiers avaient une absorption acoustique élevée : des valeurs de 0,5 - 0,8 ont été mesurées à haute fréquence, selon la teneur en fibres.

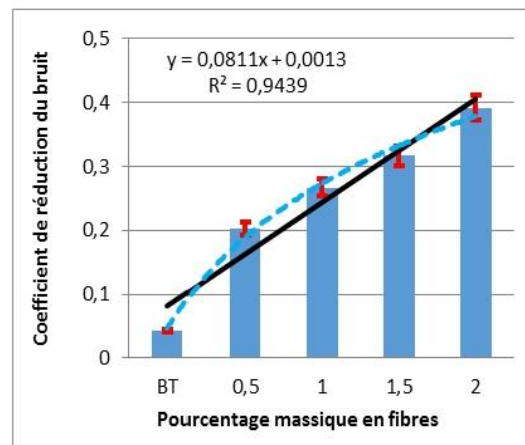
Le coefficient d'absorption acoustique a également été amélioré en augmentant la longueur des fibres de 0 à 2 %. Lorsque les fibres étaient présentes dans le béton, le coefficient d'absorption acoustique augmentait rapidement, pour toutes les longueurs de fibres. Cependant, dans la gamme de fréquences de 1250 à 2500 Hz, aucune différence significative n'a été enregistrée. Mais, au-delà de 2500Hz, une légère augmentation a été enregistrée avec une fréquence croissante. Le maximum de la valeur du coefficient d'absorption acoustique a été enregistré, avec une fréquence de 4000Hz, pour la teneur maximale en fibres (2%) et pour la longueur la plus élevée ($L_f=40\text{mm}$). L'augmentation du coefficient d'absorption acoustique du béton fibreux est due à l'interaction des ondes sonores qui se propagent dans un milieu hétérogène contenant un grand nombre de particules différentes en suspension, ce qui entraîne une perte d'énergie sonore à travers le composite. Ces résultats étaient en accord avec ceux de Tang et Yan [28] où on a montré que les matériaux fibreux et les matériaux poreux présentaient de bonnes propriétés d'absorption acoustique à des hautes fréquences. Grâce aux bons résultats acoustiques obtenus, le nouveau béton fibré étudié pourrait bien

contribuer à minimiser au maximum le son réfléchi, au niveau des plafonds et des murs des bâtiments [29].

a- Coefficient de réduction de bruit (NRC).

Le coefficient de réduction de bruit NRC est une valeur numérique unique comprise entre 0 et 1 qui décrit la performance moyenne d'absorption acoustique d'un matériau. En effet, il représente la moyenne mathématique du coefficient d'absorption acoustique mesuré aux fréquences 250, 500, 1000 et 2000 Hz. Une valeur NRC de 0,0 indique que l'objet n'atténue pas le son à moyenne fréquence, mais réfléchit plutôt l'énergie sonore. Une valeur NRC de 1,0 indique que le matériau fournit une surface acoustique équivalente à sa surface physique 2D.

Les résultats expérimentaux du coefficient de réduction de bruit sont illustrés par la figure 6. En augmentant la proportion de fibres de 0 à 2%, le coefficient de réduction de bruit (CRB) est passé de 0,04 à 0,39 et de 0,04 à 0,44 pour les longueurs de fibres égales à 10 et 40 mm, respectivement. Il a également été noté que le NRC augmentait avec l'augmentation de la longueur de la fibre. Par conséquent, l'ajout de fibres végétales de palmiers au béton de ciment a un effet bénéfique sur ses propriétés d'absorption acoustique, puisque la capacité d'absorption acoustique du composite a été considérablement améliorée. Selon les normes ISO 11654 [30], et sur la base des valeurs obtenues du coefficient d'absorption acoustique et du coefficient de réduction du bruit, le béton étudié peut être classé en classes d'absorption acoustique "D" et "E".



(a) $L_f = 10\text{ mm}$

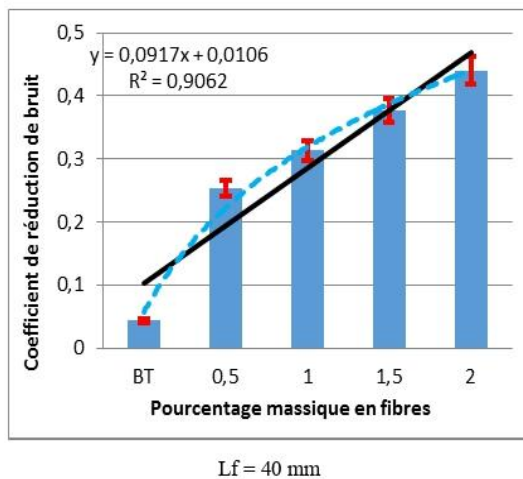


Figure 6 Coefficient de réduction du bruit en fonction de la teneur et la longueur des fibres de palmiers dattiers [26].

Notons que ces valeurs peuvent être améliorées davantage. Une légère modification de la surface intérieure par l'application d'un enduit superficiel pourrait améliorer significativement la capacité d'absorption acoustique du matériau, puisqu'il est bien connu que l'absorption acoustique dépend fortement de l'état de surface des parois [31]. Le recyclage des fibres de palmiers dattiers s'est avéré très utile, non seulement pour résoudre des problèmes environnementaux, mais aussi pour résoudre certains problèmes techniques de construction, grâce à leurs bonnes caractéristiques, telles que : légèreté, disponibilité, moindre sensibilité aux agressions chimiques, isolation, etc. Par conséquent, la fibre de palmiers dattiers peut potentiellement être recyclée comme matière première pour certains produits destinés à des applications de construction et d'isolation. L'ajout de fibres de palmiers dattiers, comme renfort au béton de ciment, pourrait fournir aux matériaux de construction une excellente isolation phonique.

Ce comportement a été obtenu grâce au fait que les matériaux fibreux se comportent comme des matériaux poreux, d'une part, et d'autre part, grâce à leur hétérogénéité qui leur confère de meilleurs coefficients d'absorption acoustique, par rapport aux matériaux homogènes.

I. CONCLUSION

Le présent travail étudie les propriétés physico-mécaniques, en particulier les propriétés acoustiques, d'un béton cimentaire renforcé de fibres végétales de

palmiers dattiers. Selon les résultats obtenus, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Il existe une bonne interaction entre le béton cimentaire étudié et les fibres de palmiers dattiers. L'ajout de fibres de palmiers dattiers a diminué la densité du béton conduisant ainsi à l'obtention de bons bétons légers.
- L'ajout de fibres de palmiers dattiers n'a pas eu d'effet bénéfique marqué sur la résistance à la compression du béton, par contre, la résistance à la flexion a augmenté significativement en augmentant la teneur en fibres et leur longueur.
- L'augmentation de la longueur et du pourcentage des fibres a conduit à une nette amélioration des propriétés d'isolation acoustique du béton étudié. En effet, les résultats obtenus ont montré que les fibres de palmiers dattiers recyclées peuvent être considérées comme une alternative appropriée aux fibres couramment utilisées pour l'isolation phonique. De plus, ce nouveau type de béton, à base de matériaux renouvelables locaux et de déchets recyclés, est un béton respectueux de l'environnement.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the General Directorate of Scientific Research and Technological Development of Algeria (DGRSDT) for its support.

REFERENCES

- [1] Joshi, S.V., Drzal, L.T., Mohanty A.K., Arora S. (2004), "Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?" *Composite Structures A.*, 35:371–376.
- [2] Mohanty, A.K., Misra, M. and Drzal, L.T. (2002), "Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world", *J. Polym. Environ.*, 10:19–26.
- [3] Dalmay, P., Smith, A., Chotard, T., Sahay-Turner, P., Gloaguen, V. and Krausz, P. (2010), "Properties of cellulosic fibre reinforced plaster: influence of hemp or flax fibres on the properties of set gypsum", *J. Mater. Sci.*, 45: 793–803.
- [4] Sripaiboonkij, P.N., Phanprasit, W. and Jaakkola, M.S. (2009), "Respiratory and skin health among glass microfiber production workers: a cross-sectional study", *Vol. 10*, pp. 1-10.
- [5] Patnaik, A., Mvubu, M., Muniyasamy, S., Botha, A. and Anandjiwala, R. D. (2015), "Thermal and sound insulation materials from waste wool and recycled polyester fibers and their biodegradation studies

- [6] Kinnane, O., Reilly, A., Grimes, J., Pavia, S., and Walker, R. (2016), "Acoustic absorption of hemp-lime construction", *Construction and Building Materials*, 122, 674–682. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.06.106
- [7] Belakroum, R., Gherfi, A., Bouchema, K., Gharbi, A., Kerboua, Y., Kadja, M., Maalouf, C., Mai, T.H., El Wakil, N. and Lachi, M. (2017), "Hygric buffer and acoustic absorption of new building insulation materials based on date palm fibers", *Journal of Building Engineering*, Volume 12, July 2017, Pages 132-139. doi:10.1016/j.job.2017.05.011
- [8] Djoudi, A., Khenfer, M.M., Bali, A., Kadri, E.H. and Debicki G. (2012), "Performance of date palm fibres reinforced plaster concrete", *Int. J. Phys. Sci.*, 7:2845–2853.
- [9] Kriker, A., Debicki, G., Bali, A., Khenfer, M.M. and Chabannet, M. (2005), "Mechanical properties of date palm fibres and reinforced date palm fibres concrete in hot-dry climate", *Cement Concrete Comp.*, 27:554–564.
- [10] Boumhaout, M., Boukhattem, L., Hamdi, H., Benhamou, B., and Ait Nouh, F. (2017), "Thermomechanical characterization of a bio-composite building material: Mortar reinforced with date palm fibers mesh" *Construction and Building Materials*, 135, 241–250. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.12.217.
- [11] Andoniana, L., Mayy, W. and Cotterel, B. (1979), "strength and fracture properties of cellulose-fibres reinforced cement composites", *international journal cement composites and lightweight concrete*, vol. 11 (3), pp. 151-1.
- [12] Taallah, B., Guettala, A., Guettala, S., Kriker, A. (2014), "Mechanical properties and hygroscopicity behavior of compressed earth block filled by date palm fibers", *Construction and Building Materials*, 59, 161–168.
- [13] Taallah, B., Guettala, A., (2016), "The mechanical and physical properties of compressed earth block stabilized with lime and filled with untreated
- [14] Belfrag, A. (2006), "Enhancement of steel fibers from waste tires in sand of dunes concrete", MSc. Thesis, University of Ouargla. Algeria, (In French). p. 112.
- [15] ACI. Committee 544. (1982), "State of the art report on fibre reinforced concrete", p.22.
- [16] Ramawamy, H.S., Abuja, B.M., Krishnamurthy, S. (1983), "Behavior of concrete reinforced with jute, coir and bamboo, fibers", *Int. J. Cement Composite Lightweight Concrete*. 5:3–13.
- [17] Rossi, P., Harrouche, N. and Belloc, A. (1989), "Composition method of concretes with metallic fibers", *Ann. ITBTP*. No. 475 (B266); French.
- [18] Gorisse, F. (1978), "Testing and control of concrete", Eyrolles Edit., Paris. p. 200.
- [19] Zieliński, T. G. (2011), "Numerical investigation of active porous composites with enhanced acoustic absorption", *J. Sound Vib.* 330(22):5292–53
- [20] Bécot, F. X. and Jaouen L. (2013), "An alternative Biot's formulation for dissipative porous media with skeleton deformation", *J. Acoust. Soc. Am.*, 134(6):4801–4807.
- [21] Chevillotte, F., Jaouen, L. and Bécot, F.X. (2015), "On the modeling of visco-thermal dissipations in Heterogeneous porous media", *J. Acoust. Soc. Am.*, 138(6):3922–3929.
- [22] ASTM. (2016), "Standard test method for impedance and absorption of acoustical materials by the impedance tube method", *Annual Book of ASTM Standards*, Designation C384-98.
- [23] Shoukry, H., Kotkata, M. F., Abo-EL-Enein, S. A., Morsy, M. S. and Shebl S. S. (2016). "Thermo-physical properties of nanostructured lightweight fiber reinforced cementitious composites", *Construction and Building Materials*, 102, 167–174. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.10.188
- [24] Khedari, J., Suttisonk, B., Pratinthong, N. and Hirunlabh, J. (2001). "New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity", *Cement & Concrete Composites*, 23, 65–71.
- [25] Pacheco, F.; Christ, R., Quinino, U. and Tutikian, B.F. (2018), "Effects of Fiber Hybridization in Advanced Cementitious Composites Durability in Humid and Aggressive Environments", *Matéria*, 23, 345–368. ", *Energy & Buildings*. 92, 161–169. doi:10.1016/j.enbuild.2015.01.056
- [26] Boucedra, A., Bederina, M. and Ghernouti, Y. (2020), "Study of the acoustical and thermo-mechanical properties of dune and river sand concretes containing recycled plastic aggregates", *Constr. Build. Mater.* 256, 119447.
- [27] ASTM International. (2004), *Annual Book of ASTM Standards (Volume 04.02)*, American Society for Testing & Materials, 2004. Tang, X., and Yan, X. (2017), "Acoustic Energy Absorption Properties of Fibrous Materials: A Review", *Composites Part A*, (July). doi:10.1016/j.compositesa.2017.07.002
- [28] Mahzan, S., Ahmad Zaidi, A. M., Ghazali, M. I., Yahya, M. N. and Ismail M. (2009). "Investigation on Sound Absorption of Rice-Husk Reinforced Composite", *Proceedings of MUCEET2009*, 19–22.
- [29] ISO 11654. (1997), *The International Organization for Standardization (ISO). ISO 11654: Acoustics. Sound Absorbers for Use in Buildings. Rating of Sound Absorption*; ISO: Geneva, Switzerland.
- [30] Anna, D., Mirosla, T. G., Miloš, G., Janka, G. and Patrik, S. (2019), "Usage of Recycled Technical Textiles as Thermal Insulation and an Acoustic Absorber", *Sustainability* 2019, 11, 2968, p.1-13