

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère De L'enseignement Supérieur et De la Recherche Scientifique



UNIVERSITE BLIDA -1-

Département de Mécanique



Pour l'Obtention du diplôme
De master en génie mécanique

Option :

Matériaux et traitement de surface

THÈME

ELABORATION ET CARACTERISATION THERMO PHYSIQUE D'UN
MATERIAUX COMPOSITE A BASE DE FIBRE PALMIER DATTIER

Réalisé par :

MELILI Nourislam

Devant le jury composé de :

Mr. FERDJANI .H

Président

Mr .ABADA.M

Examineur

Mr.CHIKHI

Promoteur

Mr. BRAHIMI

Co- Promoteur

-PROMOTION 2015/2016-

Remerciement :

Ce travail s'est déroulé au niveau du laboratoire de géomatériaux et génie civil à l'université de SAAD DAHLEB BLIDA.

J'adresse tout d'abord mes remerciements les plus sincères à Dr CHIKHI Mourad qui a été volontiers accepté d'être le promoteur de ce sujet.

Je tien particulièrement a remercier le personnels du laboratoire du génie civil à l'université SAAD DAHLEB BLIDA, le Pr KENAI Said chef du laboratoire, et le Pr MENADI Belkacem directeur de la recherche du laboratoire et a monsieur FORTAS abdelkader et MOKRANE Yacine techniciens du labo de m'avoir accueillis au sein du laboratoire.

J'en profite pour exprimer ma profonde affection à mes parents pour leur générosité et pour l'ensemble de ce qu'ils m'ont apporté.

Je suis également reconnaissant à mon oncle MELILI Fayçal et ma tante BOUNACEUR Zohra et monsieur MEHDI AbelKarim, pour leur aide pour avoir la matière première utilisée dans cet étude.

Je remercie madame Ikour Fatima Zohra de m'avoir aidé et contribuer pleinement pour la continuité de mes études.

Je remercie aussi TEYAR Asma qui m'a été d'un grand apport de la rédaction et la présentation de ce projet.

Je remercie tous ceux qui ont contribué de près comme de loin au bon déroulement de ce travail.

Dédicace :

*Je dédie ce modeste travail à mes parents pour leurs amours et
les sacrifices sans limites qu'ils ont consentis pour que je
réussisse tout au long de ces années.*

A toute la famille MELILI

A tous mes collègues

A tous mes amis et ceux qui me connaissent de loin ou de près

*A tous les étudiants rencontrés au laboratoire du génie civil de
l'université de SAAD DAHLEB BLIDA.*

الملخص:

استخدام الألياف الطبيعية تتزايد في مجال البناء لتحل محل مواد العزل التقليدية مع المواد الطبيعية في هذه الحالة، يتم استخدام هذه الألياف وحدها أو بالاشتراك مع غيرها من المواد لخلق مواد لأشغال كبرى أو مواد التشطيب ذات مقاومة حرارية أعلى وفي مجالات أخرى، يتم الجمع بين الألياف الطبيعية مع البوليمرات لتشكيل المواد المركبة التي تنمو على حد سواء في مجال الالكترونيات والسيارات , المباني والغرض الرئيسي من استخدام الألياف الطبيعية في هذه الحالة تعزيز الميكانيكية من البوليمر ومع ذلك ينبغي أيضا في بعض الحالات السلوك الحراري لهذه المواد أن تؤخذ بعين الاعتبار إما لأن المطلوب أن المواد يمكن أن يزيل الحرارة أو على العكس من ذلك أن المطلوب أن يكون لديها خصائص العزل جيدة.

Abstract:

The use of natural fibers is in expansion in the field of the building to replace the insulation materials classics by natural materials. In this case, these fibers are used alone or in combination with other materials, in order to create materials of large work or finishing with a higher temperature resistance. In other sectors, natural fibers are associated with polymers in order to train of composite materials whose applications are increasing that this either in the field of electronics, automotive or of the building. The first aim of the use of natural fibers in this case is the mechanical reinforcement of the polymer. However, the thermal behavior of these materials must also in some cases be taken into account, either because that one wishes to allow the material to evacuate the heat or on the contrary because it wishes the latter possesses good insulating properties.

Résumé :

L'utilisation de fibres naturelles est en expansion dans le domaine du bâtiment afin de remplacer les matériaux d'isolation classiques par des matériaux naturels. Dans ce cas, ces fibres s'utilisent seules, soit en combinaison avec d'autres matériaux, afin de créer des matériaux de gros œuvre ou de finition possédant une résistance thermique plus élevée. Dans d'autres secteurs, les fibres naturelles sont associées à des polymères afin de former des matériaux composites dont les applications sont croissantes que ce soit dans le domaine de l'électronique, de l'automobile ou du bâtiment. Le but premier de l'utilisation de fibres naturelles est dans ce cas le renforcement mécanique du polymère. Cependant, le comportement thermique de ces matériaux doit également dans certains cas être pris en compte, soit parce que l'on souhaite que le matériau puisse évacuer de la chaleur ou bien au contraire parce que l'on souhaite que celui-ci possède de bonnes propriétés isolantes.

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I : ETUDES BIBLIOGRAPHIQUE

I INTRODUCTION	4
II. Généralités sur les matériaux composites	4
II.1. Les matériaux composites	4
II.1.1. Les matrices	4
II.1.2. Les renforts	6
II.2. Les fibres naturelles	7
II.2.1. Fibres minérales	7
II.2.2. Fibres végétales	8
II.2.3. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales	9
II.2.4. Les fibres de palmier dattier	10
II.2.4.1. Morphologie	11
II.2.4.2. Composants du bois de palmier dattier	11
II.2.4.3. Synthèse sur les caractéristiques mécaniques et physiques du Bois de Palmier	14
II.2.4.4. Composition chimique	14
II.2.4.5. Propriétés mécaniques	16
II.2.5. Utilisation des fibres dans la construction	16
III. Matériaux composites à base de Fibres Naturelles	18
III .1 Etat de l'art sur les composites naturels	20
III .1.1. Matrice polymère et fibres végétales	20
III .1.2. Matrice minérale et fibres végétales	21

CHAPITRE II : ESSAIS EXPERIMENTAUX

I Introduction	22
II Matériaux	22
II.1 bois de palmier dattier (BPD)	22
II.2 Nettoyage et préparation des fibres pour le broyage	23

II.3 Broyage mécanique.....	24
II.4 analyses granulométrique (tamisage).....	24
II.5 le ciment.....	28
II.6 la chaux	29
III préparation des composites.....	29
III.1 choix du taux de gâchage.....	29
III.2 calcul des masses de fibres et de la matrice dans les composites	30
III.3 Mise en œuvre des échantillons	31
IV Essais et mesures	32
IV.1 Essais mécaniques	32
IV.1.1 Essai de flexion	34
IV.1.2 Essai de compression.....	35
IV.2 Essai de mesure d'ultrason	36
VI.3 Mesure de la conductivité thermique	38
VI.4 conclusion.....	40

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

I Introduction.....	41
II. propriétés mécaniques	41
II.1 résistance à la flexion.....	41
II.2 résistance à la compression	44
II.3 conclusion sur les résultats mécaniques.....	47
III. essai non-destructif par ultrason.....	47
III.1 ultrason	47
IV. propriétés thermophysique	49
IV.1 masse volumique	50
IV.2 conductivité thermique	51
IV.3 conclusion sur la mesure de la conductivité thermique.....	54
Conclusion.....	55

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRA

Figure I.1 : Différentes familles de matrices.....	5
Figure I.2 : Les différents types de renfort de base.....	7
Figure I.3. Schéma d'une palme	12
Figure I.4 : Bois de palmier dattier (pétioles, folioles et grappes) jetés comme déchet d'agriculture sans aucune valeur économique	12
Figure I.5 : bois de palmier dattier (tronc, grappe, pétiole.)	13

CHAPITRE II : MATERIAUX et ETUDES EXPERIMENTALES

Figure II.1 : les branches du palmier dattier	22
Figure II.2 : lavage des branches du palmier dattier.....	23
Figure II.3 : découpage des branches de Palmier dattier	23
Figure II.4 : Sécateur	23
Figure II.5 : séchage du bois de palmier dattier dans les étuves.....	24
Figure II.6 : le broyeur a boule	25
Figure II.7 : les boules du broyeur.....	25
Figure II.8 : appareil de tamisage du bois de palmier dattier	26
Figure II.9 : les différentes tailles obtenues après tamisage	27
Figure II.10 : les dimensions de fibres utilisées.....	28
Figure II.11 : Malaxeur automatique de type Perrier	31
Figure II.12 : moule (40 mm×40 mm×160mm)	32
Figure II.13 : les échantillons dans une étuve.....	33
Figure II.14 : échantillon de CC/ FBPD après flexion	34
Figure II.15 : appareil de flexion a 3 points.....	35
Figure II.16 : Evolution du comportement mécanique du composite Ciment-fibre en flexion 3points	35

Figure II.17 : appareil de compression	36
Figure II.18 : appareil de mesure d'ultrason.....	37
Figure II.19 : le CT-mètre.....	38
Figure II.20 : ponçage à main	39
Figure II.21 : Principe de la mesure de k.....	39

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

Figure III.1 : résistance à la flexion des composites (% des fibres qui varié).....	41
Figure III.2 : résistance à la flexion des composites en fonction de la teneur en ciment	43
Figure III.3 : variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en fibre ...	45
Figure III.4 : influence du ciment sur la résistance à la compression	46
Figure III.5: vitesse de propagation d'ondes dans les composites.....	47
Figure III.6 : Vitesse de propagation d'ondes dans les composites	49
Figure III.7 : masse volumique en fonction du pourcentage de fibres	50
Figure III.8 : masse volumique en fonction du pourcentage du ciment	51
Figure III.9 : la conductivité thermique des composites en fonction de la teneur en fibre	52
Figure III.10 : variation de la conductivité thermique en fonction du(%) ciment.....	54

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I.1 : Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales.....	10
Tableau I.2 : principales propriétés physique des FSPD (Dokar, elghers, D-nour et D- bida). [3-12].....	14
Tableau I.3 .Composition Chimique du bois du palmier dattier (Pétioles et grappes)	15
Tableau I.4 Compositionchimique de quelques fibres naturelles	15
Tableau I.5 . Propriétés physiques de quelques fibres naturelles	16
Tableau 1.6 : Application des divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment.....	17

Chapitre II : MATERIAUX et ETUDES EXPERIMENTALES

Tableau II.1 : composition chimique du ciment (%)	29
Tableau II.2 : caractéristiques physico-mécaniques des ciments	29
Tableau II.3 : masses de fibres et de matrices correspondantes aux fractions massiques.....	30

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau III.1 : Résistance à la flexion des composites CC/FBPD	42
Tableau III.2 : Influence du ciment sur la résistance de flexion	43
Tableau III.3 : résistance à la compression en fonction de la teneur en fibres.....	44
Tableau III.4 : Influence du ciment sur la résistance à la compression des composites	46
Tableau III.5 : Vitesse de propagation d'ondes dans les composites.....	47
Tableau III.6 : Vitesse de propagation d'ondes dans les composites.....	48
Tableau III.7 : conductivité thermique en fonction de la teneur en fibre	50
Tableau III.8 : la conductivité thermique des composites en fonction du (%) ciment.....	53

Liste des abréviations

CC/FBPD_(p) : composite de matrice ciment chaux renforcé par des fibres de palmier dattier d'un diamètre a l'état poudre.

CC/FBPD₍₁₎ : composite de matrice ciment chaux renforcé par des fibres de palmier dattier de diamètre de 1mm

CC/FBPD₍₅₎ : composite de matrice ciment chaux renforcé par des fibres de palmier dattier de diamètres de 5mm

- [1] P. Meukam, "Valorisation des briques de terre stabilisées en vue de l'isolation thermique de bâtiment," Thèse de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, 2004, pp. 157.
- [2] A. D. Tranle, "Etude des transferts hygrothermiques dans le béton de chanvre et leur application au bâtiment," Thèse de Doctorat, Université de Reims Champagne- Ardenne, 2010, pp. 221.
- [3] T. T. Nguyen, "Contribution à l'étude de la formulation et du procédé de fabrication d'éléments de construction en béton de chanvre," Thèse de Doctorat, Université de Bretagne-Sud, 2010, pp. 168.
- [4] K. Abdelouahed, "Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec," Thèse de Doctorat, L'école Nationale Polytechnique, 2005, pp. 154.
- [5] M. Abdessamed, "Influence des ajouts de fines minérales sur les Performances Mécaniques des Bétons Renforcés de Fibres Végétales de Palmier Dattier," Thèse de Magister, Université de Kasdi Merbah - Ouargla, 2006, pp. 98.
- [6] Y. Lamia, "Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss)," Thèse de Magister, Université de Ferhat Abbas-Sétif, 2011, pp. 118.
- [7] B. Agoudjil, A. Benchabane, A. Boudenne, L. Ibos, and M. Fois, "Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm wood," *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 491-497, 2011.
- [8] F. Abdouche, "Communication from the Botanic unit development at the Ministry of Agriculture and Rural Development - Algeria," *Algerian Press Service, APS*. 30 March 2010: *Algiers*.

- [9] **Christophe PARIS.**, « Étude et modélisation de la polymérisation dynamique de composites à matrice thermdurcissable », thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse, 2011, p4-6.
- [10] **Mme Makhoulf .**, »Caractérisation en statique du comportement en traction directe du béton armé de fibres en copeaux », thèse de magister. Université Mouloud Mammeri de tizi-ouzou, 2010,p7-8.
- [11] **SWAMY, R. H. S, AHUJA, B. M, KRISHAMOORTHY, S.**, Behavior of concrete reinforced with jute, coir, bamboo fibers. The international journal of cement composite and light weight concrete, volume 5, p 13 N°1, 1984.
- [12] **NILSON, L.**, Reinforced concrete with sisal and other vegetable fibers, Swedish council for building research, document d 14, 1975.
- [13] **AYYAR, T.S.R., and MIRIHAGALLA, P.K.**, elephant grass fibres as reinforcing fiber, magazine of concrete research, vol.28, N°96, pp. 162-167, September 1976.
- [14] **COUTTS, R.S.P.**, Flax fibers as a reinforcement in cement mortar, the international journal of cement composites and lightweight concrete, vol.5 N°4, pp 257-262, 1983.
- [15] **KRIKER A.** Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec, Thèse de Doctorat d'Etat, ENP, 2005, PP166.
- [16] **SWAMY, R. H. S, AHUJA, B. M, KRISHAMOORTHY, S.**, Behavior of concrete reinforced with jute, coir, bamboo fibers. The international journal of cement composite and light weight concrete, volume 5, p 13 N°1, 1984.
- [17] **BLIEDZKI, A. K and GASSAN. J**, Composites reinforced with cellulose based fibers ELSEVIER, Progress in polymer science, volume 24, pp.221-274, 1999.

- [18] **KRIKER A., DEBICKI G., BALI A., KHENFER M.M., CHABANNET M.**, "Valorization of date palm fibers in reinforcement of concrete at hot dry climate", pp20 –22 Sept. Vienna, ITALY 2004.
- [19] **G. Peyron**, "Cultiver le palmier dattier," G.R.I.D.A.O, Montpellier, pp. 109-129, 2000.
- [20] **TOLÈDO, F. R.D, GHAVAMI, K., ENGLAN, D. G. L, SCRIVENER, K.** Development of vegetable fibers-mortar composites of improved durability, ELSEVIER, Cement and concrete composite, volume 25, p12 ,2003.
- [21] **B. Agoudjil, A. Benchabane, A. Boudenne, L. Ibos, M. Fois**, "Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm wood," Energy and Buildings, vol. 43, pp. 491-497, 2011.
- [22] **A. Alawar, K. Al-Kaabi**, "Characterization of treated date palm tree fiber as composite reinforcement," Composites: Part B, vol. 40, pp. 601-606, 2009.
- [23] **C. Baley**, "Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites," Technique d'ingénieur, N2220, 2005.
- [24] **V. Cerezo**, "Propriétés Mécaniques, Thermiques et Acoustiques d'un matériau à base de particules Végétales: approche expérimentales et Modélisation Théorique", thèse de Doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005.
- [25] **M. J. John, R. D. Anandjiwala**, "Recent Developments in Chemical Modification and Characterization of Natural Fiber-Reinforced Composites," Polymer composites, vol. 29, issue 2, pp. 187-207, 2008.
- [26] **M. Mohan, A. Rao**, "Extraction and tensile properties of natural fibers: Vakka, date and bamboo," Composite Structures, vol. 77, pp. 288-295, 2007.
- [27] **KHENFER, M. M.** Caractérisation structurale et rhéologique des ciments et des plâtres renforcés de fibres cellulosiques. Thèse de docteur, université de Bordeaux, Juin 1990.

- [28] **LACROIX, R., FUENTES, A. et THONIER, H.** Traité de béton armé Édition EYROLLES Paris, 1982
- [29] **Mourad Chikhi,** » Métrologie et modélisation des transferts dans les composites naturels à faible cout pour l’isolation thermique dans les panneaux solaires », thèse de doctorat. Université Hadj Lakhdar de Batna, 2013, p8-15.
- [30] **C. Magniont,** "Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un écomatériau de construction à base d'agro-ressources", Génie Civil, thèse de doctorat. Université de Toulouse III - Paul Sabatier, 2010
- [31] **Y. Li, L. Ye,** "sisal fiber and its composites: a review of recent developments," Composites Science and Technology, vol. 60, pp. 2037-2055, 2000.
- [32] **R. Satyana, R S. Mukherjee, C. Pavithran & S. G. K. Piuai,** " "Natural Fibre-Polymer Composites," Cement & Concrete Composites, vol. 12, pp. 117-136, 1990.
- [33] **K. Sanada, Y. Shindo,** "Thermal conductivity of polymer composites with closepacked structure of nano and micro fillers," *Composites: Part A*, vol. 40, pp. 724-730, 2009.
- [34] **N. Sotehi,** "Caractéristiques Thermiques des Parois des Bâtiments et Amélioration de l'isolation", thèse de Doctorat. Université Mentouri-Constantine, 2010.
- [35] **W.S. Ghose, D.C. Working, J.W. Connell, J.G. Smith, Y.P. Sun,** "Thermal conductivity of ethylene vinyl acetate copolymer/nanofiller blends," Composites Science and Technology, vol. 68, pp. 1843-1853, 2008.
- [36] **M. Arandigoyen, J.I. Alvarez** “Pore structure and mechanical properties of cement–lime mortars”, Departamento de Química, University of Navarra, 31080 Pamplona, Spain
Received 16 November 2005; 22 February 2007.

- [37] J. Khedari, B. Suttisonk, N. Pratinthong, and J. Hirunlabh, "New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity,," *Cement&Concrete Composites*, vol. 23, pp. 65-70, 2001.
- [38] A. Kriker, G. Debicki, A. Bali, M.M. Khenfer, and M. Chabannet, "Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot dry climate,," *Cement and Concrete Composites*, vol. 27, pp. 554-564, 2005.
- [39] D. Taoukil, A. Albouardi, T. Ajzoul, and A. H. Ezbakhe, "Effect of the incorporation of wood wool on thermophysical properties of sand mortars, KSCE," *Journal of Civil Engineering*, vol. 16, pp. 1003-2010, 2012.
- [40] F. Barreca and C. R. Fichera, "Use of olive stone as an additive in cement lime mortar to improve thermal insulation," *Energy and Buildings*, vol. 62, pp. 507-513, 2013.
- [41] M. Bederina, L. Marmoret, K. Mezreb, M.M. Khenfer, A. Bali, and M. Quéneudec, "Effect of the addition of wood shavings on thermal conductivity of sand concretes: Experimental study and modeling," *Construction and Building Materials*, vol. 21, pp. 662-668, 2007.

INTRODUCTION GENERALE :

La plupart des bâtiments, d'habitation ou industriels, constituent des systèmes dont la consommation d'énergie est importante si l'on désire assurer un confort thermique acceptable par leurs occupants. De ce fait, la mise en œuvre d'un programme d'économie d'énergie dans les bâtiments devrait être une des actions prioritaires à entreprendre [1]. Dans le cadre du développement durable, les nouvelles réglementations en matière d'isolation thermique dans le secteur du bâtiment, incitent les scientifiques à la recherche de nouveaux matériaux pour constituer des systèmes économes en énergie tout en assurant le confort de l'habitat. Cette recherche est dirigée vers l'utilisation de matériaux issus de la matière végétale [2]. En général, la construction durable a pour but d'apporter une réponse cohérente à trois questions fondamentales: confort, impact sur l'environnement et santé. Elle vise à limiter les impacts de la construction sur l'environnement tout en assurant à l'intérieur du bâtiment des conditions de vie saines et confortables [3].

Les objectifs sont clairs mais il existe de véritables défis économiques et scientifiques à relever avant de disposer de nouveaux produits permettant de réaliser le même type de construction mais avec un impact environnemental le plus faible possible. Malgré ces difficultés, la construction durable devient de plus en plus obligatoire dans les pays développés. Il apparaît actuellement des démarches professionnelles concernant la construction durable telles que le LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) aux Etats Unis, le BREEAM (BRE Environmental Assessment Method) en Grande Bretagne ou HQE (Haute Qualité Environnementale) en France [3]. Elle désigne les pratiques consistant à concevoir et à réaliser des bâtiments plus respectueux de l'environnement et de la santé.

L'application de ces démarches nécessite la prise en compte pour les matériaux de construction, en plus des propriétés mécaniques, d'autres propriétés telles que l'isolation thermique et acoustique ou bien encore l'impact environnemental. De ce point de vue, il est indispensable de chercher dès aujourd'hui des solutions alternatives, car les matériaux de construction actuels ne sont pas biodégradables.

A l'heure actuelle, on retrouve un intérêt dans l'utilisation de matériaux d'origine naturelle tels que les végétaux (le bois, la paille, le chanvre, le lin, la terre,..), la brique de terre cuite, la

laine de mouton. Les matériaux végétaux peuvent contribuer à limiter de manière non négligeable les émissions de gaz à effet de serre grâce à leur capacité d'emprisonnement du CO₂. De plus, l'utilisation de matériaux naturels avec des constructions innovantes permet également de réduire le coût de construction.

En termes de développement des matériaux composites de construction, le béton et le mortier ne font pas exception. Les chercheurs et les producteurs de fibres ont pensé à l'incorporation de ces dernières comme matériau de renforcement dans les matrices cimentaires. Depuis lors, l'utilisation des fibres dans le béton et le mortier est devenue de plus en plus une pratique courante. Des applications sont développées grâce à la capacité prouvée par l'expérience de ces nouveaux composites, à limiter la fissuration et à améliorer la résistance à la flexion et au choc.

Plusieurs fibres ont été utilisées dans le renforcement des bétons et des mortiers. Les plus répandues sont: les fibres d'acier, d'amiante, de polymère, de carbone, et végétales. Néanmoins, vu le problème que présentent les fibres d'amiante sur la santé humaine, le coût exorbitant de production de quelques fibres industrielles, le renforcement par les fibres végétales a un avenir prometteur, et particulièrement dans les pays en voie de développement qui généralement possèdent les filières pour valoriser ces ressources naturelles [4]. L'Algérie est l'un des pays, qui dispose d'extraordinaires ressources en fibres végétales (Alfa, Diss, Liège, Palmier Dattier,...). Mais, malheureusement, leur valorisation dans les domaines pratiques est encore peu exploitée [5, 6].

Les fibres de bois de palmier dattier sont parmi les fibres végétales qui sont considérées comme déchet en Algérie. En dépit de son important potentiel quantitatif (210 000 tonnes de pétioles, 73 000 tonnes de folioles et 52 000 tonnes de grappes chaque année) [7, 8], le bois de palmier n'est pas utilisé dans les différents secteurs industriels. Il y'a donc une nécessité d'explorer le potentiel d'utilisation de cette ressource au profit de l'industrie nationale. Vue leur propriétés thermiques, les fibres de palmier dattier (FPD) représentent un matériau de renforcement très efficace pour l'isolation thermique [7].

C'est dans ce contexte que le présent travail s'intéresse au développement d'un nouveau biocomposite à base de fibres naturelles de palmier dattier et de mortier, en vue de l'utiliser

comme isolant thermique dans le bâtiment. Les propriétés thermiques et mécaniques de ce biocomposite sont déterminées expérimentalement. A cet effet, l'influence de la taille et de la teneur en FPD sur les propriétés thermophysiques et mécaniques des composites ont été étudiées.

Ce mémoire est scindé donc en trois chapitres:

- Le premier chapitre s'intéresse à la recherche bibliographique en présentant les composites renforcé pas des fibres végétales et à savoir les propriétés des principaux types de fibres naturelles utilisée.
- Le deuxième chapitre est consacré aux différents matériaux et appareil utilisées dans cette études pour élaborer les composites de notre études et à la présentation de la méthode de mise en œuvre de ces composites, on outre les différentes dispositifs de mesures, et les méthodes de caractérisations des propriétés thermique et mécanique des composites étudiés seront présentés.
- Nous présenterons dans le chapitre trois les résultats des mesures des propriétés thermophysiques et mécaniques des composites réalisés à base de mortier et fibre de palmier dattier. Nous discutons Nous discutons aussi l'influence de la concentration et de la taille des fibres de bois de palmier dattier sur les propriétés mécaniques et thermophysiques de ces biocomposites.

I. Introduction :

L'objectif de ce chapitre est de présenter une synthèse bibliographique sur l'isolation thermique dans le bâtiment et les composites naturelles. La première partie s'intéresse aux différents constituants (renforts et matrices), leurs architectures et leurs caractéristiques. La deuxième partie est dédiée à la présentation d'une synthèse sur les caractéristiques mécaniques et physiques du bois de palmier dattier et sa composition chimique.

II. Généralités sur les matériaux composites :

II.1. Les matériaux composites :

Par définition, un matériau composite est un assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles (mais ayant une forte capacité d'adhésion). La combinaison de plusieurs matériaux à interfaces distinctes donne lieu à un matériau possédant des propriétés nouvelles. La grande variété d'applications depuis l'industrie du sport à l'industrie aéronautique indiquent que ces matériaux sont voués à évoluer. Cet éventail de propriétés est dû aux nombreuses combinaisons possibles entre renforts et matrices, ces dernières liant les renforts entre eux et assurant la cohésion du matériau final. Il en résulte des matériaux « sur mesure » dans des domaines d'applications particuliers où la géométrie autant que les contraintes mécaniques et de l'environnement jouent un rôle important sur la vie des pièces. Les modes de conception et de fabrication diffèrent des matériaux conventionnels car la qualité d'un composite dépend bien entendu de la nature des matériaux utilisés, mais aussi de la qualité de l'interface entre le renfort et la matrice. La maîtrise des procédés de mise en œuvre est donc tout aussi importante que le choix de la matrice et des renforts [9].

II.1.1. Les matrice :

Le rôle de la matrice est de lier les renforts sous forme compacte et de donner la forme finale à la pièce. De plus elle permet de transférer les charges entre les fibres et de les protéger contre l'environnement. Les performances générales du composite sont très liées à la nature de la matrice, notamment pour la tenue à long terme. [9]

Il existe différentes catégories de matrices qui regroupent les matrices organiques, minérales, céramiques et métalliques. Le choix d'une matrice pour une application donnée se base sur différentes propriétés :

- ❖ Les propriétés d'adhésion et de compatibilité avec les renforts.
- ❖ Les propriétés mécaniques et de résistance à la fatigue : si les composites montrent des propriétés en fatigue comparables à celles des métaux, leur résistance dépend des propriétés de ténacité des matrices.
- ❖ L'absorption d'eau : selon la nature des composants, une sensibilité à la présence d'eau plus ou moins importante implique un vieillissement prématuré de la matrice.

On peut retrouver dans l'organigramme ci-dessous, les différentes familles de matrices

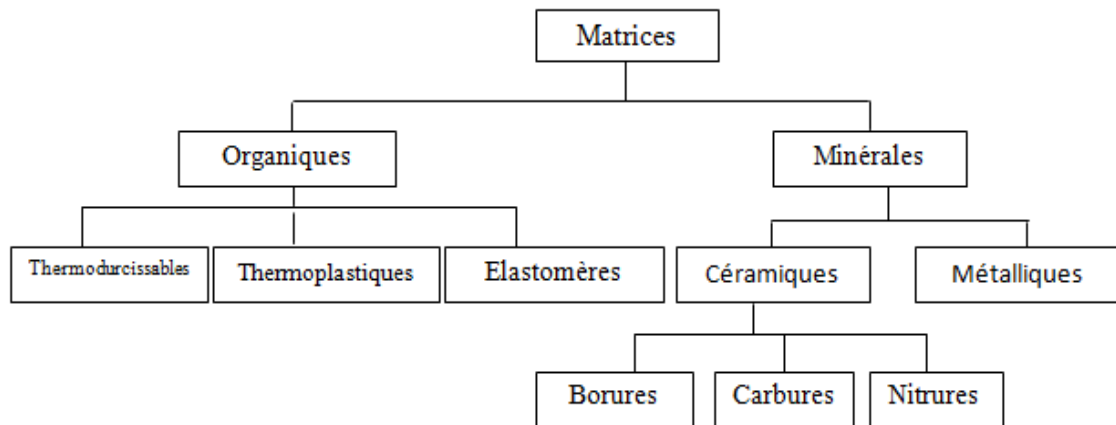


Figure I.1 : *Différentes familles de matrices*

Les matrices organiques qui peuvent être divisées en plusieurs catégories :

- **Les résines thermodurcissables :** L'utilisation de ces résines reste majoritaire dans le domaine aéronautique même si le développement des thermoplastiques est de plus en plus important. Généralement associées à des fibres longues ou continues, elles nécessitent une polymérisation en température afin de faire durcir la résine qui est initialement très visqueuse. L'ajout d'un durcisseur et d'un catalyseur, dont la nature est fonction de la composition de la résine, implique une transformation irréversible du matériau. Parmi le grand nombre de résines thermodurcissables, certaines sont couramment utilisées.
- **Les résines thermoplastiques :** Elles présentent l'avantage de pouvoir être ramollies par chauffage et durcies par refroidissement, ce qui permet de faciliter le moulage par viscoplasticité. La réversibilité de ces actions permet d'envisager leur revalorisation, alors que le développement de matériaux écologiques est en plein essor.
- **Les résines thermostables :** Elles sont caractérisées par des caractéristiques mécaniques stable sous des pressions et des températures élevées ($>200^{\circ}\text{C}$) appliquées de façon continue. Cette propriété se mesure en déterminant la température que peut supporter la résine durant 2000h sans perdre la moitié de ses caractéristiques mécaniques.
- **Les élastomères :** Constitués de longues chaînes repliées sur elles-mêmes au repos, ces chaînes glissent les unes par rapport aux autres sous l'effet d'une contrainte. Généralement ces chaînes sont vulcanisées, et le silicone, le caoutchouc ou encore l'EPDM (éthylène-propylène-diène monomère) font partie des élastomères les plus connus.

II.1.2. Les renforts :

Les renforts sont les éléments qui contribuent majoritairement à la réponse mécanique du composite. Ils requièrent donc d'excellentes propriétés de résistance mécaniques, mais aussi de bonnes propriétés thermiques, électriques ou encore chimiques suivant les applications. [9]

Malgré leur diversité il est possible de les classer suivant différentes catégories selon leur nature, comme le montre l'organigramme ci-dessous :

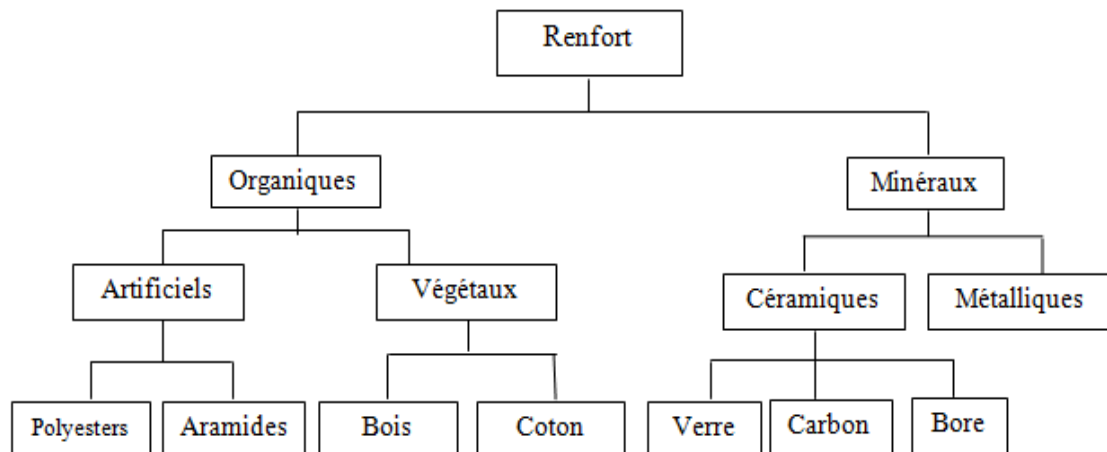


Figure I.2 : Les différents types de renfort de base.

II.2. Les fibres naturelles :

Les fibres naturelles présentent de nombreuses propriétés intéressantes comme renfort pour les composites. Ils ont la particularité d'être un matériau à faible densité, ce qui donne des composites relativement légers à hautes caractéristiques spécifiques. Les fibres naturelles offrent également des avantages de coûts et des avantages importants associés au traitement, par rapport aux fibres synthétiques. Enfin, ils sont une ressource hautement renouvelable, ce qui réduit la dépendance sur l'huile de pétrole national et étranger.

Les fibres sont classées selon leur origine (naturelles, synthétiques ou artificielles), leur forme (droite, ondulées, aiguille, ...etc.), leur dimension (macro ou microfibre) et aussi par leur propriété mécanique. Les principales fibres utilisées sont

II.2.1. Fibres minérales :

Elles englobent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine, ...etc.), et sont utilisées en grandes quantités dans plusieurs applications traditionnelles. Les fibres d'amiante autrefois utilisées pour l'isolation et l'insonorisation, se sont révélées aujourd'hui cancérogènes. [10]

II.2.2. Fibres végétales :

L'utilisation des fibres naturelles d'origine végétale dans la construction remonte à la période où l'on fabrique des briques renforcées par la paille ou des roseaux. Dans le temps moderne (depuis l'année 70), le premier composite liant avec les fibres végétales c'était le plâtre. Plusieurs ouvrages sont réalisés avec du plâtre renforcé de fibres végétales.

Actuellement le monde connaît de récents développements dans le domaine du renforcement de ciment et béton avec des fibres végétales. Suite aux problèmes de santé posés par les fibres d'amiante, plusieurs recherches sont orientées vers la substitution de l'amiante par des fibres végétales.

Dans notre étude nous allons s'étaler sur la classification des fibres végétales, elles sont classées en quatre groupes suivant leur provenance. A s'avoir : les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface. [10]

a) Les fibres de feuilles : Ces fibres sont obtenues grâce au rejet des plantes monocotylédones. Les fibres sont fabriquées par chevauchement de paquet qui entoure le long des feuilles pour les renforcer ces fibres sont dures et rigides.

Les types de fibres de feuilles les plus cultivées sont la fibre de sisal, de Henequen et d'abaca [11].

De ces fait, plusieurs chercheurs tel que : NILSSON [12], AYYAR et al [13] ont montré l'efficacité du renforcement du ciment par les fibres de feuilles.

b) Les fibres de tiges : Les fibres de tige sont obtenues dans les tiges des plantes dicotylédones. Elles ont pour rôle de donner une bonne rigidité aux tiges de plantes. Les fibres de tige sont commercialisées sous forme de paquet de cor et en toute longueur. Elles sont par la suite séparées individuellement par un processus de défilage. Les fibres, une fois séparées, sont utilisées dans la fabrication des cordes ou de textile ou bien dans le renforcement du ciment et béton.

Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie de sunn, de kenaf, de urena et de chanvre [14].

NILSSON [13] rapporte que les fibres de tige, les plus utilisées dans le renforcement du ciment, sont celles de sun, de chanvre et de jute.

c) Les fibres de bois : Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes. Plusieurs chercheurs [15,16] ont montré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement des ciments.

d) Les fibres de surface : Les fibres de surface entourent en général la surface de la tige, de fruits ou de grains. Les fibres de surface des grains constituent le groupe le plus important dans cette famille de fibres. Nous citons entre autre le Cotton et la noix de coco (coco). Les fibres de coco ont donné de bons résultats pour la résistance à la flexion du ciment de fibre [17].

Il est à noter que, les fibres de palmier, qui entourent son tronc, appartiennent à cette famille de fibres.

II.2.3. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales :

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre, sa densité, sa teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau [15]. Elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, à la rupture et par le module d'élasticité.

Les propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales ont été traitées par plusieurs chercheurs [15,18]

Tableau 1.1 : Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales

Fibres	Référence	Densité (g/cm ³)	Allongement à la rupture (%)	Résistance à la traction (MPa)	Module de Young (GPa)
Cotton	[9]	1.5-1.6	7.0-8.0	587-597	5.5-12.6
Jute	[9]	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
Lin	[9]	1.5	2.7-3.2	345-1035	27.6
Chanvre	[9]	--	1.6	690	--
Ramie	[9]	--	3.6-3.8	400-938	61.4-128
Sisal	[9]	--	2.6	278	--
	[11]	0.75-1.07	2.08-4.08	577.50	10.94-26.70
	[12]	1.5	2.0-2.5	511-635	9.4-22.0
Noix de Coco	[9]	1.2	30.0	175	4.0-6.0
	[11]	0.67-1.00	13.7-41.0	174	2.5-4.5
	[12]	1.33	-	72	2.0
Palmier de Dattier	[7]	0.51-1.08	7.5-17.4	170-290	2.1-5.25

II.2.4. Les fibres de palmier dattier :

Parmi les fibres végétales les plus cultivées, on peut citer les fibres de palmier dattier. Dans le sud de notre pays, il y'a plus de 800 variétés de palmier dans les oasis d'après des statistiques universitaires [15]. Les types les plus connus sont : DegletteNour, Dokar, Elghers (appellation locale). On peut avoir plusieurs types de fibre dans le palmier : de bois, de feuille, de tige, de surface... d'après la bibliographie, on peut résumer (Tableau 1.3) les propriétés physiques principales des fibres de surface de palmier dattier

Ainsi parmi les caractéristiques des fibres de surface de palmier dattier, on peut citer d'après les chercheurs [15,18] :

- ❖ Un pouvoir d'absorption assez élevé (123.5% en moyenne),
- ❖ Les fibres sont poreuses avec une surface alvéole,

Le pourcentage de cellulose (le responsable de la résistance) est relativement faible par rapport aux fibres de Sisal.

II.2.4.1. Morphologie :

Le palmier est une herbe géante de 20 à 30m de hauteur, au tronc cylindrique (le stipe), portant une couronne de feuilles, les feuilles sont pennées divisées et longues de 4 à 7m. Il appartient à la classe des monocotylédones (une feuille embryonnaire dans la graine). Les monocotylédones ont une organisation différente, ils n'ont pas de cambium (une couche mince située entre le bois et l'écorce), alors que le bois de palmier présentant une structure et des propriétés bien différentes de celle des autres arbres [19].

II.2.4.2. Composants du bois de palmier dattier :

Le bois de palmier dattier est constitué de plusieurs parties :

➤ **Tronc**

C'est un stipe, généralement cylindrique, son élongation s'effectue dans sa partie coronaire par le bourgeon terminal ou phyllophore.

➤ **Couronne**

La couronne ou frondaison est l'ensemble des palmes vertes qui forment la couronne du palmier dattier. On dénombre de 50 à 200 palmes chez un palmier dattier adulte. Les palmes vivent de trois à sept ans, selon les variétés et le mode de culture. Elles sont émises par le bourgeon terminal ou « phyllophore », pour cela, on distingue : la couronne basale, la couronne centrale et les palmes du cœur [19].

➤ **Palme**

La palme ou « Djérid » est une feuille pennée dont les folioles sont régulièrement disposées en position oblique le long du rachis. Les segments inférieurs sont transformés en épines, plus ou moins nombreuses, et plus ou moins longues [19].

➤ **Fleurs**

Le dattier est une plante dioïque, c'est-à-dire qu'il existe des dattiers mâles (Dokar) et des dattiers femelles (Nakhla). Seuls les dattiers femelles donnent des fruits, donc elles sont à l'origine des multiples variétés des dattes. De façon générale deux des trois carpelles,

uniovulés, avortent et les fruits sont monospermes ce qui peut s'expliquer par la grande densité des inflorescences [19].

➤ **Le fruit**

Le fruit de dattier, la datte est une baie contenant une seule graine, vulgairement appelée noyau. La datte est constituée d'un mésocarpe charnu, protégé par un fin épicarpe, le noyau est entouré d'un endocarpe parcheminé, il est de forme allongée, plus ou moins volumineux, lisse ou pourvu de protubérances latérales en arêtes ou ailettes, avec un sillon ventral; l'embryon est dorsal, sa consistance est dure et cornée. La couleur de la datte est variable selon les espèces : jaune plus ou moins clair, jaune ambré translucide, brun plus ou moins prononcé, rouge ou noire [19]

La figure I.3 illustre les différents constituants d'une palme. La grappe, pétiole et le tronc sont représentés dans les figures I.5.

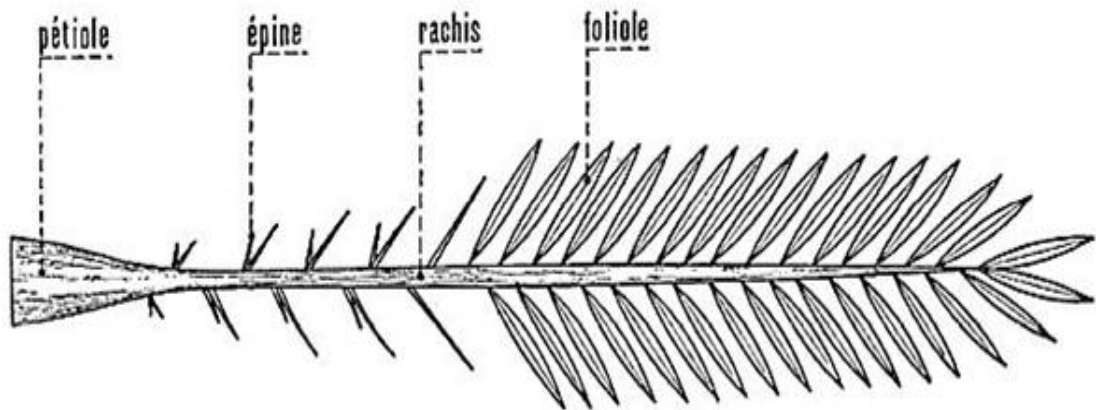


Figure I.3. Schéma d'une palme.



Figure I.4 : Bois de palmier dattier (pétioles, folioles et grappes) jetés comme déchet d'agriculture sans aucune valeur économique.



Figure 1.5 : bois de palmier dattier (tronc, grappe, pétiole.)

Tableau 1.2: principales propriétés physique des FSPD (Dokar, elghers, D-nour et D-bida). [3-12].

Propriété	Minimum -Maximum	Moyenne - CV(%)
Diamètre (mm)	0.10-1.00	0.45-54.43
Densité Absolue (kg/m ³)	1300-1450	1383.33-5.52
Densité Apparente (kg/m ³)	512.21-1088.81	900-17.64
Teneur en eau naturelle (%)	9.50-10.00	10-5.00

II.2.4.3. Synthèse sur les caractéristiques mécaniques et physiques du Bois de Palmier Dattier :

Plusieurs auteurs ont étudiés les propriétés morphologiques [21,22] mécaniques [23,24] et thermiques [21] du bois de palmier dattier (BPD). Certaines études sont focalisées sur les différentes variétés telles que DegletNoor (DN), MechDegla (MD), Elghers (EG) et dokar [21,15], d'autres s'intéressent aux parties du BPD telle que le pétiole (P), la grappe (G), le rachis et le tronc.

II.2.4.4. Composition chimique :

Le tableau I.3 présente la composition chimique du BPD. Les résultats montrent que le carbone (C) et l'oxygène (O), sont les principaux éléments dans ces matériaux. Il est noté aussi, que la quantité du Chlore (Cl) est élevée dans toutes les variétés du BPD sauf pour la partie pétiole de la variété Elghers, mais elle est inférieure à celle de la cendre du rachis.

Ceci, peut être attribué à la nature du sol dont les palmiers dattiers sont plantés.

Tableau I.3. *Composition Chimique du bois du palmier dattier (Pétiotes et grappes)*

Eléments Masse(%)	[21]		[30]		[31]			
	DN	G	MD	EG	P	G	Tronc	Rachis*
C	43.95	42.67	44.4	60.09	54.15	42.59	75.86	1.50
O	47.08	48.19	48.24	34.00	44.06	46.2	20.45	-
Na	0.23	0.03	0.27	0.07	0.11	0.98	-	6.79
Mg	1.52	0.04	1.73	0.14	0.53	0.23	0.15	3.53
Si	0.69	0.28	0.49	0.32	0.18	0.43	-	2.80
S	0.13	0.37	0.47	0.13	0.31	0.14	0.12	1.69
Cl	5.05	2.56	3.89	2.69	0.80	4.47	-	18.6
K	0.62	6.63	0.46	2.81	0.33	5.21	-	10.2
Ca	0.75	0.12	0.07	0.02	0.15	0.03	0.2	21.5

*cendredurachis.

Avec: Deglet Noor(DN),Mech Degla(MD),Elghers(EG),pétiole(P),la grappe(G).

Le tableau I.4 présente la composition chimique de quelques fibres naturelles. On peut constater que les quantités de cellulose et de l'hémicellulose du palmier dattier sont inférieures à celles des autres fibres naturelles sauf pour la fibre du coton qui possède une quantité d'hémicellulose faible. Par conséquent, le palmier dattier a une quantité importante en lignine comparée avec les autres fibres naturelles, tandis que la quantité de la cendre est similaire à celles du sisal et chanvre

Tableau I.4 : *Composition chimique de quelques fibres naturelles*

Fibres	Cellulose (%masse)	Hémicellulose (%masse)	Lignine (%masse)	Cendre (%masse)	Réf
Palmier dattier	43±2	8±2	35±5	1.2±0.3	[10]
Huile de palmiste	65	-	65	-	[20]
Banane	63-64	19	5	-	[20]
Chanvre	68	15	8	0.8	[20]
Sisal	65	12	9.9	2	[20]
Coton	85- 90	5.7	-	0.6	[20]

II.2.4.5. Propriétés mécaniques :

Les propriétés physiques du BPD comparées avec celles des autres fibres naturelles sont exposées dans le tableau I.5. D'après ce tableau, la résistance à la traction et le module de Young des BPD sont significativement inférieures à celles des autres matériaux naturels, tandis que leur allongement à la rupture et la densité sont similaires à celles utilisées dans le domaine d'isolation thermique tel que le chanvre et le sisal.

La figure I.4 présente l'effort en fonction du déplacement des BPD comparés avec d'autres matériaux naturels. Cette figure montre que les BPD possèdent des bonnes caractéristiques mécaniques.

Tableau I.5. *Propriétés physiques de quelques fibres naturelles [25,26]*

Fibres	RT (Mpa)	E (Gpa)	A (%)	ρ_3 (g/cm ³)	H (%)
Palmier dattier	97-196	2.5-5.4	2-4.5	1-1.2	12.08
Huile de palmiste	248	3.2	25	0.7-1.55	-
Banane	500	12	5.9	1.35	10.71
Chanvre	690	70	1.6	1.48	-
Sisal	511-635	9.4-22	2-2.5	1.5	9.76
Cotton	287-597	5.5-12.6	7-8	1.5-1.6	-

R_T: Résistance à la traction, E : Module d'Young, A:Allongement à la rupture, masse volumique.

H : Humidité présente dans les conditions atmosphériques normales

II.2.5. Utilisation des fibres dans la construction :

Les fibres de toute nature sont très employées dans différents ouvrages dans le but d'améliorer leurs performances mécaniques et physiques. A titre d'exemple le tableau (1-4) résume les diverses applications des fibres dans les produits cimentaires.

L'utilisation des fibres végétales dans le renforcement des ciments est relativement récente. En effet, beaucoup de recherches sont en cours dans le but d'arriver à substituer les fibres d'amiante par les fibres végétales. Actuellement, les fibres végétales sont de plus en plus utilisées dans les dalles et la production des tuiles et les dallages de parking ainsi que dans le renforcement du plâtre [27].

Par ailleurs, l'utilisation des fibres de polymère, de carbone et d'acier est de plus en plus pratiquée dans plusieurs domaines et spécialement dans la fabrication des panneaux et dans la restauration et la réparation des ouvrages anciens endommagés.

Tableau 1.6: Application des divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment [15,28].

Type de fibre	Application
Verre	Panneaux préfabriqués, murs, rideaux, tuyaux d'égout, toiture en voile mince, enduit
Acier	Elément de toitures en béton cellulaire, linteau, revêtement de chaussée, tabliers de pont, produit réfractaire, tuyaux en béton, piste d'atterrissage, réservoirs sous pression, travaux de restauration bâtiments.
Polypropylène Nylon	Pieux de fondation, pieux précontraints, panneaux de revêtement, élément flottant de débarquement et amarres pour les marinas, réparation des routes, tuyau sous-marin, travaux de restauration bâtiments.
Amiante	Voiles, tuyau, panneaux matériaux d'isolation thermique, tuyaux d'égouts plaques de toitures plates et ondulées, revêtement des murs.
Carbone	Elément ondulé pour la construction des planchers, membrane simple ou double courbure, coques, plancher d'échafaudage.
Particules de Mica	Panneaux, tuyaux, travaux de restauration
Végétale	Dalles, tuiles.

L'utilisation des fibres de toutes natures dans plusieurs domaines en particulier dans la construction est de plus en plus pratiquée. Vu les problèmes de santé que présente les fibres d'amiante, leur substitution par des fibres végétales ou polymères est un enjeu médico-économique important.

De ce fait, de récentes recherches sont en cours dans le but d'améliorer les propriétés des matériaux renforcés par des fibres végétales, de verre ou de polymère. La nature des fibres utilisées est en relation avec leurs applications et les modes de mise en œuvre. Le choix des fibres dépend du rôle que l'on désire faire jouer.

Il est certain qu'un rôle structural assez élevé associé à une grande durabilité et à une utilisation économique exige l'emploi de fibres de haute module comparé à celui de la matrice, et non altérables, disponibles sur le marché local à des prix acceptables.

Actuellement, les types de fibres les plus utilisés dans le renforcement des bétons sont les fibres d'acier. Mais vu le problème de santé que présente les fibres d'amiante et le problème économique que présente la production des fibres d'acier, de verre ou de polymère, particulièrement pour les pays en voie de développement qui possèdent une grande richesse en fibres naturelles, l'avenir en terme de renforcement sera attribué aux fibres naturelles, ou

bien à la limite pour les fibres composites (polymère-végétales). Ainsi, il est temps d'orienter les axes de recherches vers la valorisation des fibres naturelles dans la construction d'une façon générale et le béton d'une façon particulière. Quoique l'Algérie soit parmi les pays qui possèdent une multitude des fibres végétales (fibre de palmier, Alfa Abaca, chanvre de coton ...), la valorisation des fibres dans les domaines pratiques n'est pas encore généralisée. [29]

III. Matériaux composites à base de Fibres Naturelles

En fonction de la nature des constituants, les composites naturels sont classés en deux grandes classes : les composites à matrice polymérique et ceux à matrice minérale [16].

Nous nous intéressons plus précisément dans ce qui suit aux matrices minérales, comme le ciment chaux. Dans un premier temps, nous allons présenter les enjeux liés à l'utilisation de fibres naturelles.

Enjeux :

D'une manière générale, l'utilisation de fibres naturelles comme renforts de matériaux composites se justifie par :

- la valorisation d'une ressource locale: les composites à fibres naturelles ouvrant de nouvelles applications aux produits agricoles.
- le développement des matériaux et des technologies prenant en compte l'impact sur l'environnement. Les fibres naturelles sont produites et se recyclent naturellement sur terre depuis des millions d'années (matériaux biodégradables et renouvelable par culture).

Le choix des fibres d'origine naturelles est guidé par :

- leur origine et leur fonction
- leur disponibilité : une fibre naturelle est considérée comme disponible si le volume de fibres présent sur le marché est suffisant pour réaliser des pièces industrielles. Sa production est liée à leur utilisation
- leur composition et leur structure souvent complexe. Bien que les matériaux composites soient souvent présentés comme originaux et innovants, le milieu naturel en offre déjà un large panel, que ce soit dans le monde végétal ou dans le monde animal. Une multitude de matériaux naturels, les uns rigides mais légers, comme les coquilles de noix, et les autres souples mais résistants, comme le bois, doivent leurs propriétés mécaniques à leur structure composite. [29]

Un matériau est dit biodégradable s'il est totalement décomposé par des micro-organismes (des bactéries par exemple) [30]. Les fibres naturelles sont biodégradables et doivent le rester à la suite des traitements qu'elles subissent pour une application de renfort d'un matériau composite (la vitesse de dégradation peut être, elle, modifiée). Le résultat de cette décomposition est la formation d'eau, de dioxyde de carbone et/ou de méthane et éventuellement de sous-produits non toxiques pour l'environnement.

Ces fibres sont considérées comme neutres vis-à-vis des émissions de CO₂ dans l'atmosphère puisque leur combustion ou leur biodégradation ne produit qu'une quantité de dioxyde de carbone égale à celle que la plante a absorbé pendant sa croissance. Les objets en composites à fibres naturelles sont donc plus faciles à recycler et, si leur matrice est biodégradable (biopolymères), ils sont compostables après broyage. Les matériaux composites renforcés par des fibres naturelles sont actuellement en cours de développement pour remplacer les matériaux traditionnels, leurs applications sont encore limitées mais devraient s'élargir dans le futur, notamment dans le domaine de la construction [29].

Les fibres végétales utilisées comme renfort dans les matériaux composites présentent des avantages et des inconvénients. La biodégradabilité des fibres peut être considérée comme un avantage ou un inconvénient. Pour le recyclage, c'est un avantage. Par ailleurs, il n'existe pas de pièces industrielles à durée de vie illimitée, tout matériau étant voué à devenir déchet [31].

Parmi les avantages des fibres naturelles :

- Faible cout.
- Biodégradabilité.
- Neutre pour l'émission de CO₂
- Ressource renouvelable.
- Pas de résidus après incinération.
- Propriétés mécaniques et spécifiques importantes.
- Demande peu d'énergie pour être produite.
- Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres.
- Bon isolant thermique et acoustique.

Néanmoins, les fibres naturelles présentent plusieurs inconvénients :

- Absorption d'eau.
- Fibres anisotropes.
- Faible stabilité dimensionnelle.
- Renfort discontinu.
- Faible tenue thermique (200 à 300°C max).
- Variation de la qualité en fonction du lieu de croissance et des conditions météorologiques. [29]

III .1 Etat de l'art sur les composites naturels :

III .1.1. Matrice polymère et fibres végétales :

Les composites à matrice polymérique (CMP) sont généralement constitués d'une matrice de polymère et d'un renfort de fibres. Les matrices communément utilisées dans l'élaboration de composites à fibres naturelles sont les thermoplastiques, tel que le polypropylène et le polyéthylène [32-33], ou les thermodurcissables tel que le polyester [21,17]. L'utilisation des fibres végétales comme renforts est une application existante depuis de nombreuses décennies. En 1908, par exemple, des composites associant une résine phénolique au coton ou au papier ont été développés pour la réalisation industrielle de panneaux et de tubes pour l'électronique [23]. Au cours des années trente, le Céloron (marque Tufnof), constitué de tissu de coton imprégné de résine phénolique, permettait la réalisation d'engrenages et de cames à longue durée de vie. Utilisable dans l'eau, ce matériau a été employé pour la fabrication de paliers d'arbres d'hélice, de pièces d'accastillage pour voiliers (joues de poulies, poupées de winch,...) ou dans des disjoncteurs de centrales électriques. Ces produits sont encore aujourd'hui disponibles [31]. En Inde, des maisons, des tôles de toitures, ont été conçus à partir de résine polyester/époxy renforcé par des fibres de jute et de sisal. L'entreprise Mercedes-Benz, utilise pour son modèle «classe A», un composite renforcé par des fibres de lin et de sisal, destiné aux garnitures intérieures de portières, de dossiers de sièges, aux supports de moquette ou à l'habillage du coffre. Pour cette application, des non-tissés à base de fibres végétales et de fibres thermoplastiques sont transformés par compression en température [31]. L'utilisation de ce matériau s'inscrit dans une démarche d'écoconception. En effet, la faible densité, le faible coût, la disponibilité et l'aptitude au recyclage de ces fibres encouragent le développement de nouvelles applications dans les composites. Les études techniques disponibles dans la littérature [17,15] rapportent que ces

fibres ont un réel avantage concurrentiel face aux fibres de verre. Cependant, les fibres naturelles possèdent une absorption d'humidité élevée, qui peut être un problème majeur.

Les fibres naturelles possèdent donc un fort potentiel de développement comme agent de renfort dans les matrices polymères [17,25]. L'ensemble de ces études montre également que l'adhésion entre les fibres et la matrice joue un rôle primordial sur les propriétés mécaniques et thermiques du composite. Il est donc indispensable de connaître les interactions chimiques de surface entre les différents constituants des composites avant de réaliser une caractérisation mécanique ou thermique de l'ensemble [17].

III .1.2. Matrice minérale et fibres végétales :

Dans le domaine de l'habitat, le torchis est considéré comme le premier matériau composite de l'histoire. Il est composé d'une matrice (terre) et de renforts (fibres végétales). C'était le matériau de construction des habitations dès le néolithique. Les Celtes l'ont utilisé pour construire les murs de leurs maisons. Le torchis est une technique de construction du type ossature remplissage. Cependant, sous les tropiques, un insecte qui propage la terrible maladie de Chaggas se développe dans les murs de torchis et condamne toute promotion de cette technique dans les zones de basse altitude où cet insecte peut prospérer [31].

Les fibres végétales telles le chanvre sont utilisées dans le bâtiment et la construction : la fibre pour l'isolation et la chènevotte (partie boisée du chanvre) en mélange avec des chaux ou des liants spécifiques pour confectionner des mortiers, des bétons de chanvre, ou des briques de chanvre. Les bétons de chanvre permettent de réguler l'hydrothermie et de garantir un confort d'isolation thermique. Une précision doit être apportée sur la désignation «béton de chanvre» qui correspond en fait à des mélanges de type chaux-chènevotte. Ils sont faciles à utiliser et apportent une bonne propriété acoustique. La chènevotte peut être exploitée dans tous les domaines de la construction : murs, doublages, cloisons, isolation de toiture et enduits. [25] Le liège a été aussi utilisé comme un renfort dans les matrices cimentaires agissant comme isolant dans les constructions, [34,35]. Ghose et al [36] ont caractérisé les propriétés mécaniques et physiques d'un composite à base de ciment incorporés par des fibres longues de sisal. Les résultats montrent que ce type de composite présente une fissuration multiple après le test de flexion. Selon les auteurs de [36], ce comportement est dû à la faible compatibilité entre les fibres de sisal et le ciment.

I Introduction :

Ce chapitre s'articule sur les différents matériaux utilisés pour élaborer les composites à base du mortier et de bois de palmier dattier et a la présentation de la méthode de mise en œuvre de ces composites en fonction de la taille des charges et leurs concentrations, des dispositifs de mesures, et des méthodes de caractérisation des propriétés thermiques et mécaniques des composites étudiés.

II Matériaux :**II-1 bois de palmier dattier (BPD) :**

Le matériau naturel utilisé dans cette étude comme renfort est le bois du palmier dattier (FBPD). La partie des BPD utilisée dans ce travail c'est les branches du palmier dattier présentée dans la figure II-1.



Figure II-1 : les branches du palmier dattier

II-2 Nettoyage et préparation des fibres pour le broyage :

Les branches du palmier dattier ont été lavé avec du l'eau du robinet ensuite coupé en morceaux de 5 a 7 cm a l'aide d'un sécateur, ce travail est représenté dans les figures II-2 et II-3 et II-4.



Figure II-2 : lavage des branches du palmier dattier.



Figure II-3 : découpage des branches de
Palmier dattier



Figure II-4 : Sécateur

Ensuite le bois utilisé a été séché dans les étuves a une température de 70 c pendant 72 heures. Ce travail est représenté dans la figure II-5.



Figure II-5 : séchage du bois de palmier dattier dans les étuves.

II-3 Broyage mécanique :

Le bois utilisé a été préparé comme on a vue précédemment, ensuite passé à l'étape du broyage, afin de produire des petites dimensions de fibres.

Le broyage consiste a diminué la taille des matériaux solides a des tailles plus petites.

Le principe est la fragmentation des morceaux par l'action mécanique de pièces plus résistantes, généralement mécanique. Les équipements utilisés dépendent des dimensions souhaitées.

La figure II-6 présente le broyeur utilisé lors de l'opération de broyage du bois de palmier dattier.



Figure II-6 : le broyeur a boule

Les boules du broyeur utilisées sont représentées dans la figure II-7.



Figure II-7 : les boules du broyeur.

II-4 analyses granulométrique (tamisage) :

L'analyse granulométrique ou le tamisage permet de déterminer les différents diamètres de fibres qui constituent les échantillons, de ce fait, l'analyse consiste à séparer et à classer les grains de bois selon leurs diamètres à l'aide de la série de tamis.

Dans ce travail la série de tamis utilisée est la suivante : 80 μ m 160 μ m 630 μ m 1mm 1.25mm 2mm 2.5mm 3.15mm 4mm 5mm 6mm. On appelle :

- Refus sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.
- Tamisât (ou passant) : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

La figure II-8 présente le tamiseur utilisé dans cette étude.



Figure II-8 : appareil de tamisage du bois de palmier dattier.

La figure II-9 présente les résultats des différentes tailles obtenues après tamisage.



Figure II-9 : les différentes tailles obtenues après tamisage.

La figure II-10 présente les fibres utilisées dans cette étude.

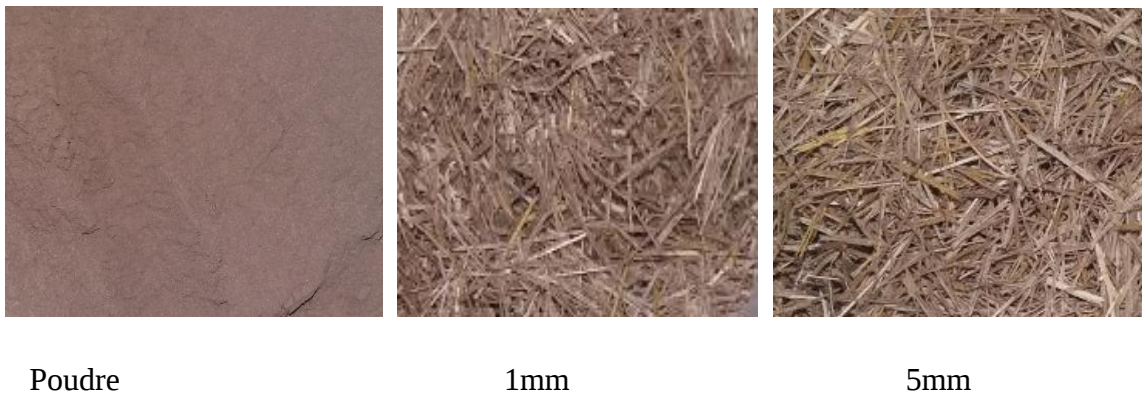


Figure 2-10 : les dimensions de fibres utilisées

II-5 le ciment :

Dans cette étude la matrice contient 30% du ciment Chamil de Lafarge Algérie appartenant à la wilaya de M'sila qui répondent à la norme algérienne NA 442, est un ciment gris, résultat de la mouture de clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'alumine et le fer (Fe_2O_3). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300°C et 1500°C . En présence de l'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriétés hydraulique) constitué principalement de micro- cristaux de silicates de calciums hydratés.

Chamil présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformes à la norme NA 442 et la norme EN 197-1.

Les tableaux II-1 et II-2 présentent la composition chimique du ciment (%) et les caractéristiques physico-mécaniques des ciments.

Tableau II-1 : composition chimique du ciment (%).

Ciment	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	CaO libre
Chamil	5.53	3.26	58.06	0.90	2.33	0.93

Tableau II-2 : caractéristiques physico-mécaniques des ciments.

	Ciment (Chamil)
Mv apparente (Kg/m ³)	960
Mv absolue (pycnomètre) (Kg/m ³)	2986

II-6 la chaux :

La chaux utilisée dans notre étude est la chaux «Berriane» cette chaux est obtenue par cuisson de roches calcaires ((Ca CO₃)) ou dolomitique (association de Ca CO₃ et Mg CO₃) suivie d'une extinction à l'eau, durcissait lentement à l'air, et qui présente une bonne ossature pour notre mortier, en présentant un aspect de finition différent.

L'ajout de la chaux est motivé surtout par le fait d'offrir une isolation thermique.

III préparation des composites :**III-1 choix du taux de gâchage :**

-(e/p) influence l'ouvrabilité de la pâte au cours de prise.

-la pate du mélange (ciment-chaux) doit être facile à travailler pour qu'elle puisse s'étaler correctement sous la forme des moules. Dans ce cas un taux de gâchage élevé assurera une bonne ouvrabilité.

-afin de choisir le meilleur taux de gâchage (rapport e/p) on a procédé à plusieurs essais. Pour le rapport e/p =0.5.il s'est produit une pate sec et difficile à travailler. Le rapport e/p=0.7 produit une pate pate bonne à travailler, donc une ouvrabilité meilleure.

III-2 calcul des masses de fibres et de la matrice dans les composites :

A partir de la loi des mélanges on a :

$$\rho_c = \rho_f + \rho_m \dots\dots\dots 1$$

Avec :

$$\varphi_f(\%) = \frac{m_f}{m_f + m_m} \dots\dots\dots 2$$

On aboutira à :

$$m_f = m_m [\varphi_f / (1 - \varphi_f)] \dots\dots\dots 3$$

Avec m_f et m_m sont respectivement les masses des fibres et de la matrice (chaux-ciment avec l'eau) ; φ_f est la fraction massique utilisée.

Pour un taux de gâchage de $e/p=0.8$, les masses de fibres calculés sont regroupés dans le tableau II-3.

Tableau II-3 : masses de fibres et de matrices correspondantes aux fractions massiques.

composites	chaux fixe	ciment fixe	eau	fibres %	fibres (g)
CC/FBPD₁	70% (700g)	30% (300g)	0,7coup%	1	17.17
CC/FBPD₂	700g	300g	700g	3	52.57
CC/FBPD₃	700g	300g	700g	5	89.47
CC/FBPD₄	700g	300g	700g	10	188.88

composites	chaux fixe	fibres fixe	eau	ciment(%)	ciment (g)
CC/FBPD₅	70% (700g)	3% (52.57g)	700g	5	76.45
CC/FBPD₆	700g	52.57g	700g	10	161.39
CC/FBPD₇	700g	52.57g	700g	20	363.14

III-3 Mise en œuvre des échantillons :

Les composites étudiés ont été préparés avec quatre fraction massiques (voir tableau II-3) de fibre de palmier dattier comme fibre de palmier dattier en tant variante.

Puis en deuxième lieu on a préparés trois fractions massiques de ciment, en tant variant.

La préparation des échantillons a été effectuée on trois étapes :

«i» le ciment et la chaux et les fibres ont été mis dans le récipient afin d'être homogénéisé puis on les a mélangé dans un malaxeur de type Perrier pendant 90secondes.

«ii» on a ajouté de l'eau avec un taux de gâchage de 0.7 à température ambiante et le mélange est malaxé pendant 45secondes.

«iii» le mélange est versé rapidement dans les moules qui correspondent aux différents essais.

Le malaxeur utilisé est illustré dans la figure II-11.



Figure II-11 : Malaxeur automatique de type Perrier.

Le moule utilisé pour les essais de traction, compression et ultrason c'est un moule d'essai mécanique (40 mm×40 mm×160mm).

Le moule utilisé pour les essais de conductivité thermique c'est un moule de dimensions (80 ×40 mm×160mm).



Figure II-12 : moule (40 mm×40 mm×160mm)

Trois séries d'échantillons d'une matrice de chaux-ciment et de fibres de palmier dattier ont été réalisés.

-La première série de composites comprend une matrice de chaux –ciment avec de concentration massiques de 1, 2,5 et 10% de fibres de palmier dattier à l'état poudre (diamètre inférieur à 80 μ m) comme fibre de palmier dattier en tant que variante. Puis le ciment en tant que variant avec des concentrations de 5, 10 et 20% tout en fixant les taux de fibre de palmier dattier à 3% équivalent à 52.57g.

-La deuxième série contient les composites réalisés en utilisant les mêmes concentrations avec des fibres de diamètre de 1mm.

-la troisième série contient les composites réalisés en utilisant toujours les mêmes concentrations avec des fibres de diamètre de 5mm.

IV Essais et mesures :

IV-1 Essais mécaniques :

-les essais de la résistance à la flexion et à la compression ont été effectués selon la norme NFEN 1015-11,2000 ;

-les échantillons ont été préparés et testés à environnements 7 jours séché dans les étuves à 70 C° et 7 jours à l'air libre.

La figure II-13 : représente le séchage des échantillons dans les étuves.



Figure II-13 : les échantillons dans une étuve.

Un échantillon de composites après rupture par flexion est présenté dans la figure II-14.



Figure II-14 : échantillon de CC/ FBPD après flexion

IV-1-1: Essai de flexion :

Une machine de flexion (modèle : Matest) avec une vitesse 15N/s a été utilisée pour l'essai de la résistance à la flexion figure (II-15). L'éprouvette repose sur deux appuis simples distants de l . et la charge F est appliquée au centre de l'échantillon (voire figure (II-16)).

La méthode de la flexion à trois points est utilisée et la résistance à la flexion est calculée à partir de l'équation suivante [29]:

$$R_f = 1.5 \frac{Fl}{bd^2}$$

Ou R_f est la résistance a la flexion [MPa], et b et d sont respectivement la largeur et l'épaisseur de l'échantillon [mm]. F est la charge maximale appliquée à la flexion d'essai [N] et l est la distance entre les rouleaux d'appuis [mm].



Figure II-15 : appareil de flexion a 3 points.

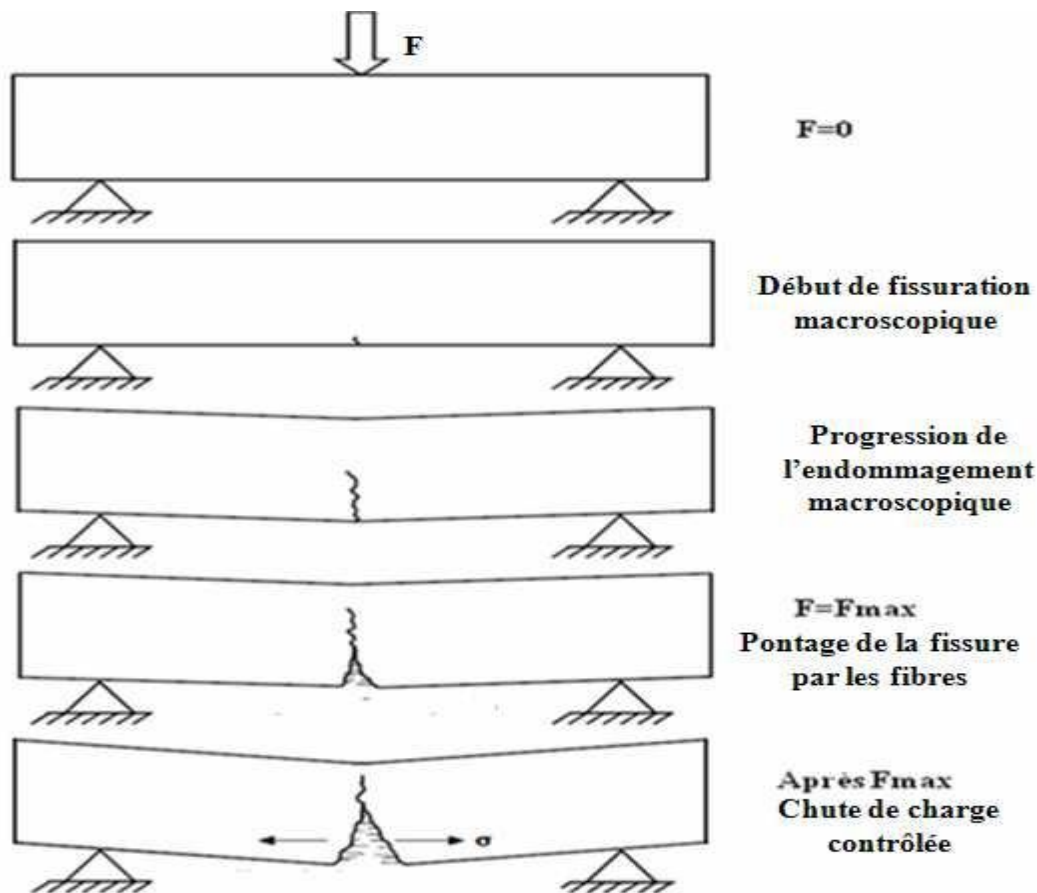


Figure II-16 : Evolution du comportement mécanique du composite Ciment-fibre en flexion 3 points

IV-1-2 Essai de compression :

Le but de cet Essai est de déterminer la résistance mécanique a la rupture pour les échantillons soumis a des contraintes de compression. La machine d'essai de compression de 250 KN de marque MATEST modèle TREVIOLO E 182.

Le logiciel fourni avec la machine a été utilisés pour déterminer la résistance à la compression.

La résistance a la compression a été déterminé en appliquant une charge sur les demi-prismes obtenus a partir de l'essai de flexion sur les échantillons (40 mm ×40 mm ×160 mm) utilisés pour l'essai de la flexion. La résistance à la compression est calculée a partir de l'équation suivante [29]:

$$R_c = \frac{F_c}{A}$$

Ou R_c est la résistance à la compression [MPa], F_c la charge maximale appliquée a la compression [N] et A la section [mm²]



Figure II-17 : appareil de compression.

IV-2 Essai de mesure d'ultrason :

L'essai de mesure d'ultrason a pour objet de déterminer un temps de propagation d'ondes soniques dans le composite. Son principe consiste à mesurer le temps de propagation de la premier impulsion d'un train d'ondes appelées ondes longitudinales, généré par un transducteur entre deux points déterminés du matériau.

On peut, à partir du temps de propagation mesuré, exprimer une vitesse conventionnelle de propagation ; c'est le quotient de la distance entre transducteurs par le temps mesuré.

L'appareil d'essai est essentiellement constitué d'un générateur d'impulsions électriques. Des plusieurs transducteurs (un émetteur et un ou plusieurs récepteurs) et d'un dispositif de chronométrage permettant de mesurer l'intervalle de temps qui s'écoule entre le départ de l'impulsion générée par le transducteur-émetteur et de la détection de son arrivée au (x) ou le temps qui s'écoule entre le passage de cette impulsion entre deux transducteurs-récepteurs.

Les contacts des transducteurs avec la pièce à ausculter sont «ponctuels» ou surfaciques.

La qualité du contact entre les transducteurs et le matériau est primordiale pour la validité de la mesure. Pour les transducteurs plans. On interpose un produit «couplant».

Le calibrage et les mesures doivent être effectués avec le même produit couplant.

Les temps de propagation des ondes soniques seront exprimés en microsecondes. Le dernier chiffre significatif sera compatible avec la classe de l'appareil. Ce temps de propagation tiendra compte du coefficient correcteur.

La vitesse conventionnelle de propagation est calculée par la formule :

$$v = \frac{l}{t}$$

Où (l) est la distance entre les transducteurs en mètre,

(t) est le temps de propagation en secondes,

La vitesse conventionnelle est exprimée en mètre par seconde.

La figure II-19 représente le teste de l'essai de mesure d'ultrason.



Figure II-18 : appareil de mesure d'ultrason.

VI-3 Mesure de la conductivité thermique :

Le dispositif utilisé pour déterminer les valeurs du coefficient de conductivité thermique de nos éprouvettes est la méthode du fil chaud. L'appareillage utilisé est le CT-mètre développé par le SCTB. Conforme à la norme NF EN 993-15.

La méthode du fil chaud permet d'estimer la conductivité thermique d'un matériau et de la chaleur spécifique à partir de l'évolution de la température mesurée par un thermocouple placé à proximité d'un fil résistif.

La figure II-20 représente le CT- mètre.



Figure II-19 : le CT-mètre.

La sonde, constitué du fil résistif et du thermocouple dans un support isolant en captons. Est positionnée entre deux échantillons du matériau à caractériser. Le CT-mètre, développé au CSTB. Utilise cette méthode avec les critères suivants : température de mesure de 20 à 80 C° et échantillon (80mm ×40 mm).

Dans le but de bien mener l'expérience. Nous avons traité les surfaces des éprouvettes, rugueuses à l'état initial. On a fait le ponçage à main avec du papier a verre afin d'obtenir des surfaces lisses et planes. (Voir figure II-20).

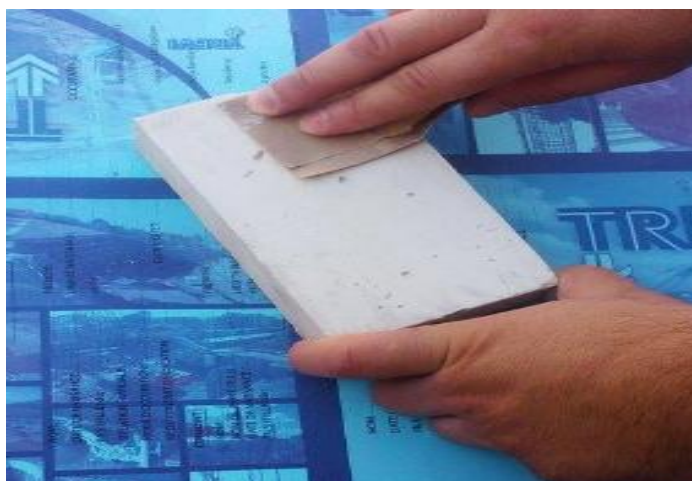


Figure II-20 : ponçage à main.

Il existe aussi plusieurs méthodes de mesure de la conductivité thermique.

La figure II-21 représente *Principe de la mesure de k* .

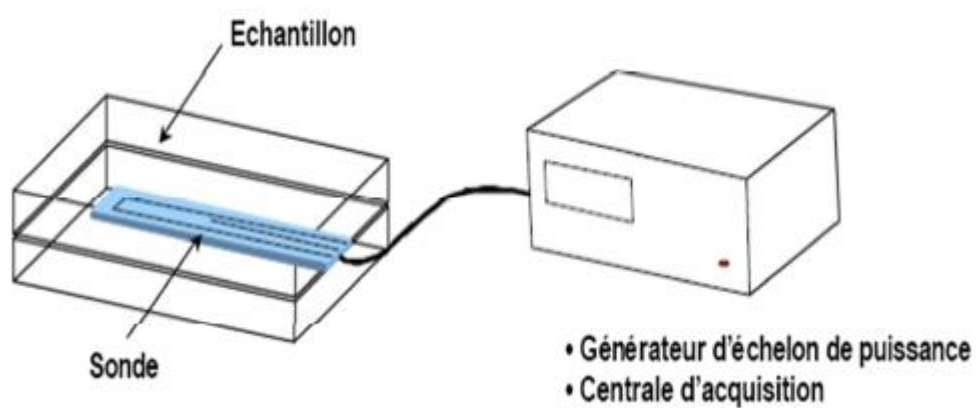


Figure II-21 : *Principe de la mesure de k* .

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents matériaux utilisés et la méthode de préparations des composites à base de mortier et fibre de palmier dattier, ainsi que les appareils de mesures utilisées. L'étude granulométrique a été effectuée pour étudier l'influence de la taille de fibre de palmier dattier sur les propriétés thermiques et mécaniques des composites.

Les résultats expérimentaux obtenus au cours de ce travail seront présentés et discutés dans le chapitre suivant.

I. Introduction :

Ce chapitre est dédié à l'analyse des résultats obtenus des composites élaborés à base de mortier renforcé par des fibres de bois de palmier dattier.

Dans cette partie nous discutons l'influence de la concentration et la taille des fibres de palmier dattier sur les propriétés thermophysiques et mécaniques de ces composites.

II. Propriétés mécaniques :

L'ajout de fibres naturelles dans le mortier chaux-ciment entraîne des modifications importantes sur les comportements mécaniques à savoir, la résistance à la flexion et à la compression. Dans ce travail, deux paramètres sont étudiés, à savoir: la concentration et la taille des fibres.

II.1. Résistance à la flexion :

II.1.1.variation de taux de fibre :

Un montage de flexion 3 points a été utilisé afin de caractériser le comportement mécanique des composites et notamment l'effet de la teneur en fibres sur les propriétés mécaniques mesurées à 14 jours (7jours dans les étuves à une température de 70C° + 7 jours à l'air libre).

Le tableau III.1, présente les valeurs expérimentales d'essais de résistance à la flexion des composites à base de chaux-ciment et de fibres de bois de palmiers dattiers tenant en compte la variation du taux de fibres.

Tableau III.1 : Résistance à la flexion en (Mpa) des composites CC/FBPD

ϕ (%)	CC/FBPD(p)	CC/FBPD (1mm)	CC/FBPD (5mm)
0	2,64	2,64	2,64
1	3,79	3,97	4,01
3	3,15	4,97	5,99
5	1,67	6,07	12,20
10	2,27	11,29	12,82

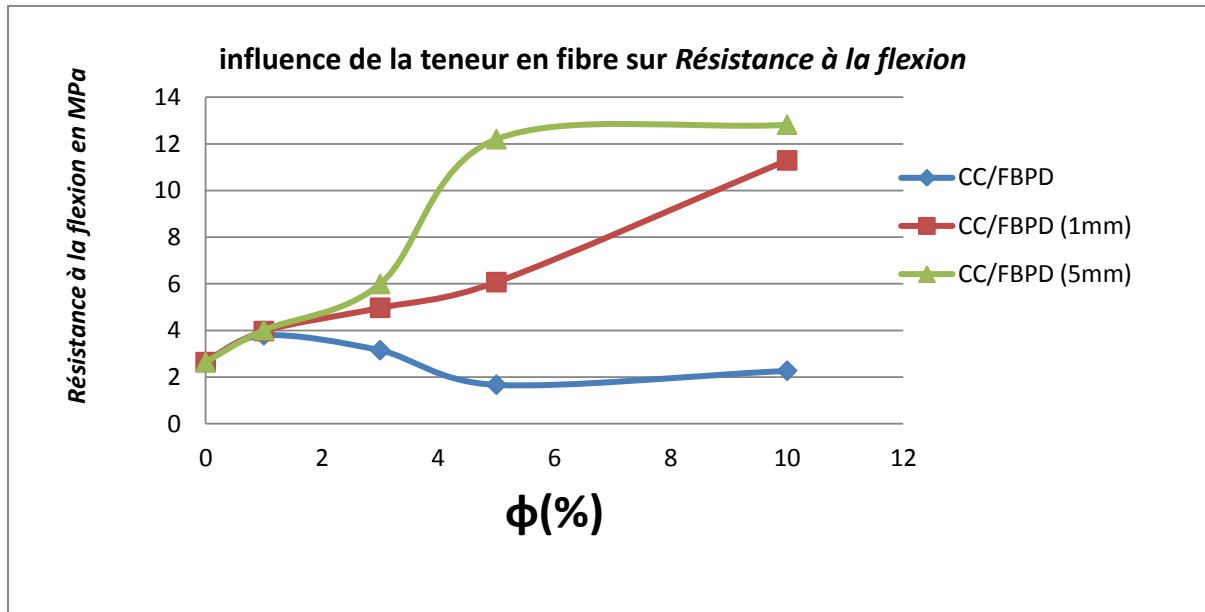


Figure III.1 : résistance à la flexion des composites (% des fibres qui varié).

La figure III.1, présente la variation de la résistance à la flexion des composites renforcés par des fibres de palmier dattier avec des pourcentages et des diamètres différents (poudre, 1mm et 5 mm). Ces résultats montrent que la résistance à la flexion des éprouvettes CC/FBPD₍₅₎ est plus importante par rapport à CC/FBPD₍₁₎ et CC/FBPD_(p). On constate aussi qu'avec l'ajout des concentrations massiques des fibres à l'état poudre, la résistance à la flexion de nos composites diminue pour atteindre une valeur minimal à la concentration de fibre de 5%, ensuite à 10% de fibre elle augmente un peu mais elle reste toujours faible. Par contre pour la fibre de 1 mm et 5 mm les résultats de flexion augmentent. Ce résultat peut être attribué à la porosité créée dans la matrice par l'effet d'ajout de fibres.

Pour les éprouvettes CC/FBPD_(p) : on remarque que l'incorporation des fibres dans les composites chaux-ciment se traduit par une diminution de leur résistance à la flexion. Pour une concentration massique de fibre de 5%, nos composites ont un comportement très faible en résistance à la flexion,

Et à 10% (de fibre) la résistance augmente un peu mais elle reste toujours faible.

Et pour CC/FBPD₍₁₎ la résistance augmente toujours avec l'ajoute des fibres.

Par contre pour les CC/FBPD₍₅₎ la résistance a la flexion augmente avec l'augmentation du pourcentage de fibre ajoutés jusqu'à 5% et ensuite elle devient presque stable entre 5% et 10% de fibres.

II.1.2. variation de taux de ciment :

Le tableau III.2. Présente les valeurs expérimentales d'essai de résistance à la flexion des composites à base de ciment-chaux et de fibres de palmier dattier, dont on varie le pourcentage de ciment.

Tableau III.2 : Influence du ciment sur la résistance a la flexion

ϕ (%)	CC/FBPD _(p)	CC/FBPD _(1mm)	CC/FBPD _(5mm)
5	4,18(Mpa)	/	10,79
10	3,64	/	9,24
20	2,95	/	10,03

La figure III.2 représente la variation de la résistance de a la flexion des éprouvettes CC/FBPD_(p) et CC/FBPD₍₅₎ avec un taux de fibres fixe à 3% et des pourcentages du ciment différentes (5%.10% et 20%),

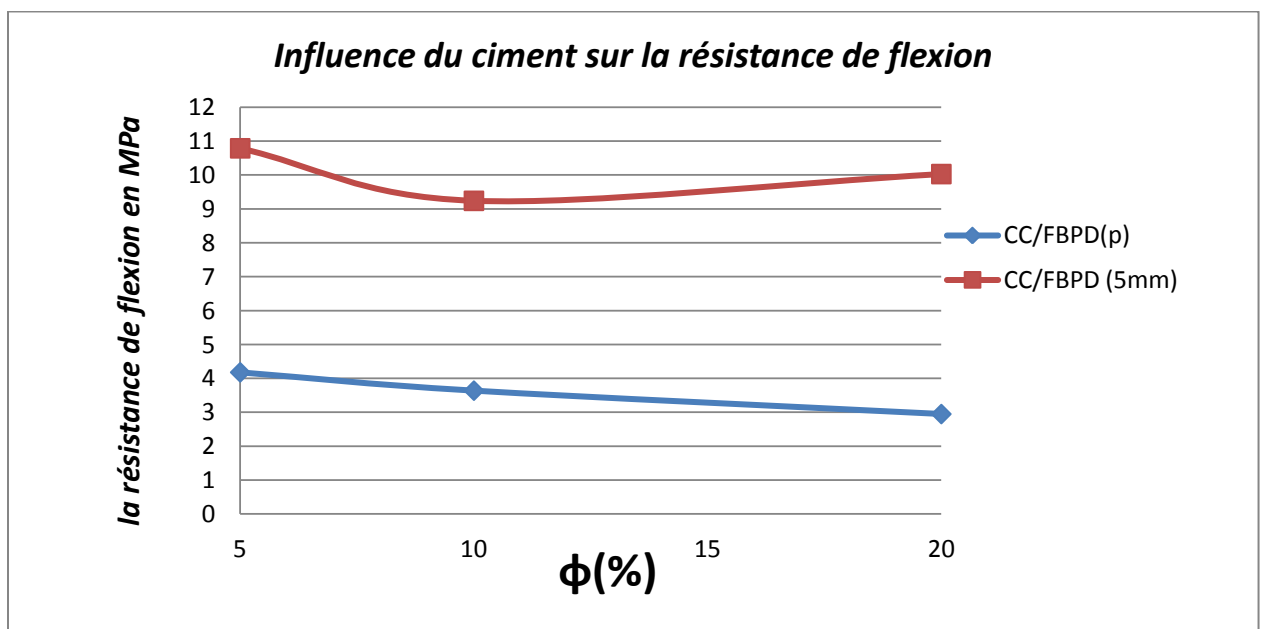


Figure III.2 : résistance à la flexion des composites en fonction de la teneur en ciment.

On remarque que pour CC/FBPD (p) la résistance diminue malgré qu'on a augmenté le (%) du ciment. Par contre pour CC/FBPD(s) la résistance de 5% du ciment à 10% la résistance a diminué, ensuite elle re-augment pour un 20% de ciment.

II.2. Résistance à la compression :

II.2.1. variation de taux de fibres :

La résistance a la compression est l'une des propriétés les plus importantes de matériaux de construction, le tableau III.3 présente les valeurs expérimentales d'essais de résistance à la compression des composites à base de chaux-ciment et de fibres de bois de palmiers dattiers comme variante.

Tableau III.3 : résistance à la compression en fonction de la teneur en fibres.

$\phi\%$	CC/FBDP _(p)	CC/FBDP _(1mm)	CC/FBDP _(5mm)
0	2,55(Mpa)	2,55	2,55
1	5,1	6,8	5,9
3	4,55	8,65	4,95
5	1,75	6,45	8,05
10	2,8	5,75	6,6

La figure III.3 montre la variation de la résistance a la compression des échantillons en fonction de la teneur en fibres.

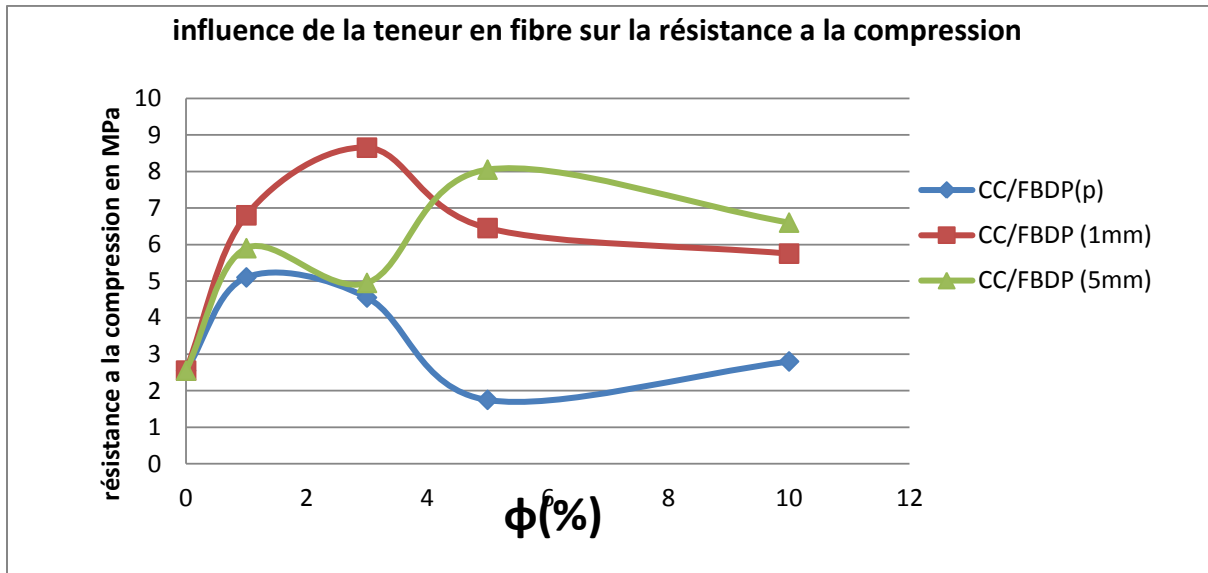


Figure III.3 : variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en fibre.

- Pour les échantillons CC/FBDP(p) la valeur de la résistance à la compression à partir du pourcentage 1% jusqu'au pourcentage de 5% elle diminue ensuite de 5% jusqu'à 10% elle re-augmente mais elle reste toujours faible.
- Pour les échantillons CC/FBDP(1) la valeur de la résistance a la compression augmente jusqu'à la teneur de fibre de 3% ensuite elle diminue.
- Pour les échantillons CC/FBDP(5) la valeur de la résistance a une teneur de fibre entre 1% et 3% elle est croissante et décroissante parfois, par contre a partir d'une teneur plus de 3% elle se stabilisé a une variation décroissante.

On a remarqué que la résistance à la compression diminue quand le (%) de fibres augment, ce comportement est dû à l'augmentation de la teneur en fibres qui conduit à une faible masse volumique des échantillons, il est claire que cette diminution est accompagnée par une perte de la résistance mécanique à la compression.

En fait, a une concentration élevée de fibre, si la fibre est rigide le compactage de la fibre devient difficile et les vides sont introduit dans le composite [37], et ces vides influence sur la résistance à la compression.

Lorsque la concentration de fibre augmente, la zone interface entre la fibre et la matrice augmente. Cela induit une fragilisation à l'intérieur de la matrice, et diminue par conséquent la résistance à la compression [29].

La résistance à la compression optimale est obtenue avec une teneur en fibre faible, cela peut être expliqué par le fait que les fibres introduisent des défauts minimaux dans la matrice et donnent une distribution plus uniforme dans le matériau [38].

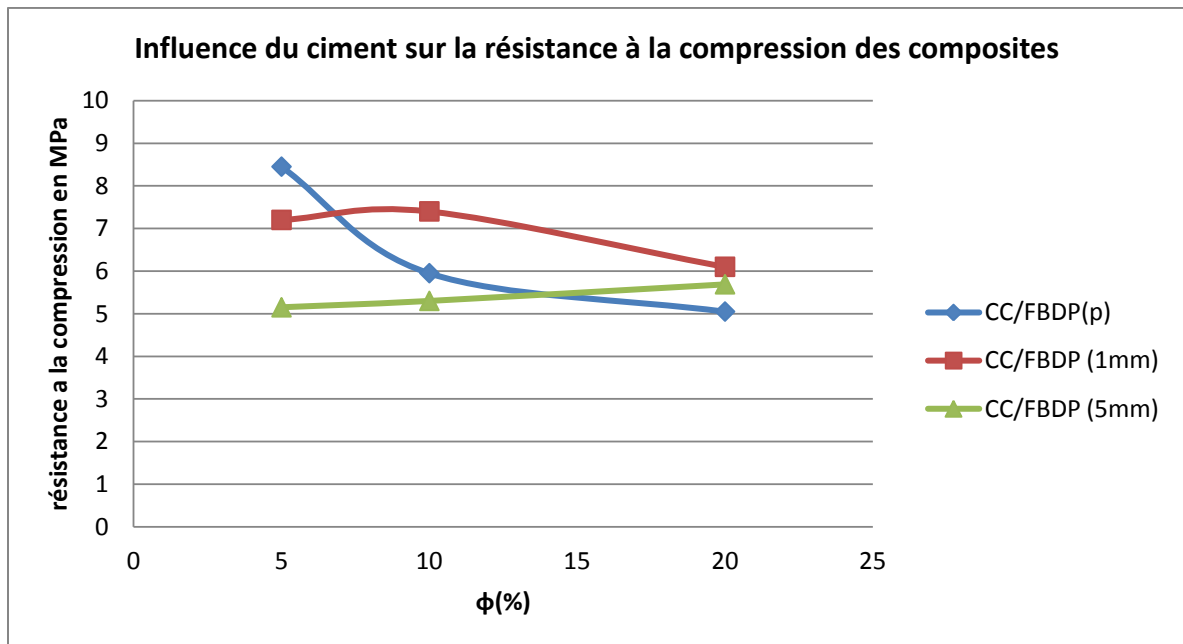
II.2.2. variation de taux de ciment :

Le tableau III.4 montre l'influence d'ajout du ciment sur la résistance à la compression des composites.

Tableau III.4 : Influence du ciment sur la résistance à la compression des composites

$\square_c$ (%)	CC/FBDP _(p)	CC/FBDP _(1mm)	CC/FBDP _(5mm)
5	8,45(Mpa)	7,2	5,15
10	5,95	7,4	5,3
20	5,05	6,1	5,69

La figure III.4 représente les valeurs de la résistance à la compression en tenant compte l'influence du ciment pour un taux de fibres fixe à 3%.



La figure III.4 : influence du ciment sur la résistance à la compression.

- Pour les échantillons CC/FBDP (p) la résistance à la compression est décroissante et pour CC/FBDP₍₁₎ elle augmente pour une concentration de 10% ensuite elle diminue, l'influence n'était pas efficace dans nos essais.
- Par contre pour les échantillons CC/FBDP₍₅₎ on remarque qu'avec l'augmentation de la quantité de ciment, la résistance augmente, donc le rôle du ciment est positif dans ces échantillons.

Et ces résultats montrent que pour les échantillons CC/FBDP₍₅₎ le ciment a amélioré la masse volumique des échantillons et cela a influencé du sens d'améliorer la résistance à la compression, donc la perte de la résistance mécanique à la compression due à l'ajout des fibres a été récupérée par l'augmentation de la quantité de ciment.

II.3. Conclusion sur les résistances mécaniques :

Cette étude a montré que les essais mécaniques effectués sur les composites, comme la résistance à la flexion et à la compression dépendent essentiellement de la teneur en fibres,

Pour la résistance à la flexion, la valeur importante obtenue est de 12.82 MPa correspondant au composite CC/FBDP₍₅₎ avec un taux de fibre de 10%.

Et pour la résistance à la compression, la valeur importante obtenue est de 8.65 MPa correspondante au composite CC/FBPD₍₁₎ avec un taux de fibre de 3%.

III Essai non-destructif :

Les tableaux III.5 et III.6 présents la variation des vitesses de propagation des ondes ultrasonores dans les matériaux composites de notre étude.

Tableau III.5 : *Vitesse de propagation d'ondes en (m/s) dans les composites en fonction du taux de fibre*

$\phi_f(\%)$	CC/FBPD _(p)	CC/FBPD _(1mm)	CC/FBPD _(5mm)
0	2065	2065	2065
1	2588,9	2523,6	2775,36
3	2172,4	2893,3	2620,8
5	1454,54	2389,84	2557,95
10	924,8	1903,6	1534,03

La figure III.5 représente les valeurs de propagation indiqué dans du tableau III.5

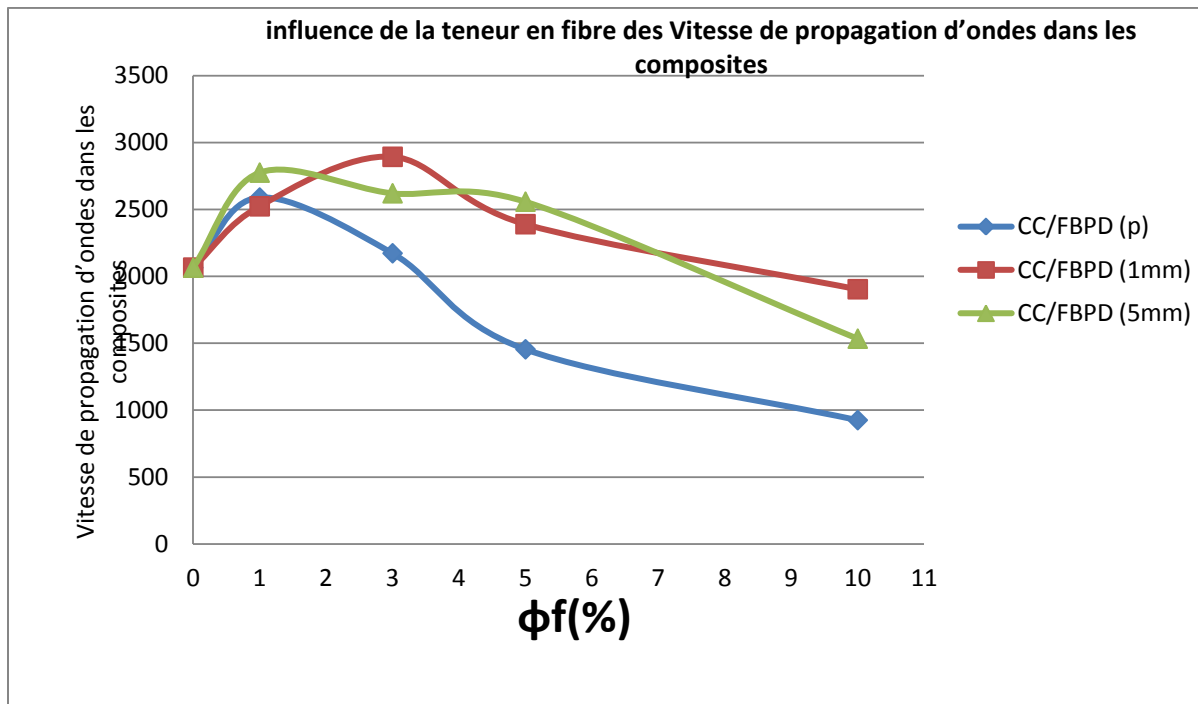


Figure III.5: vitesse de propagation d'ondes

Tableau III.6 : influence de la variation du pourcentage du ciment sur la vitesse de propagation d'ondes en (m/s) dans les composites

$\square_c$ (%)	CC/FBPD (p)	CC/FBPD (5mm)
5	2618,6	2631,57
10	2328,96	2496,09
20	2279,2	2160,7

La figure III.6 représente les valeurs de la propagation d'ondes indiquée dans le tableau III.6.

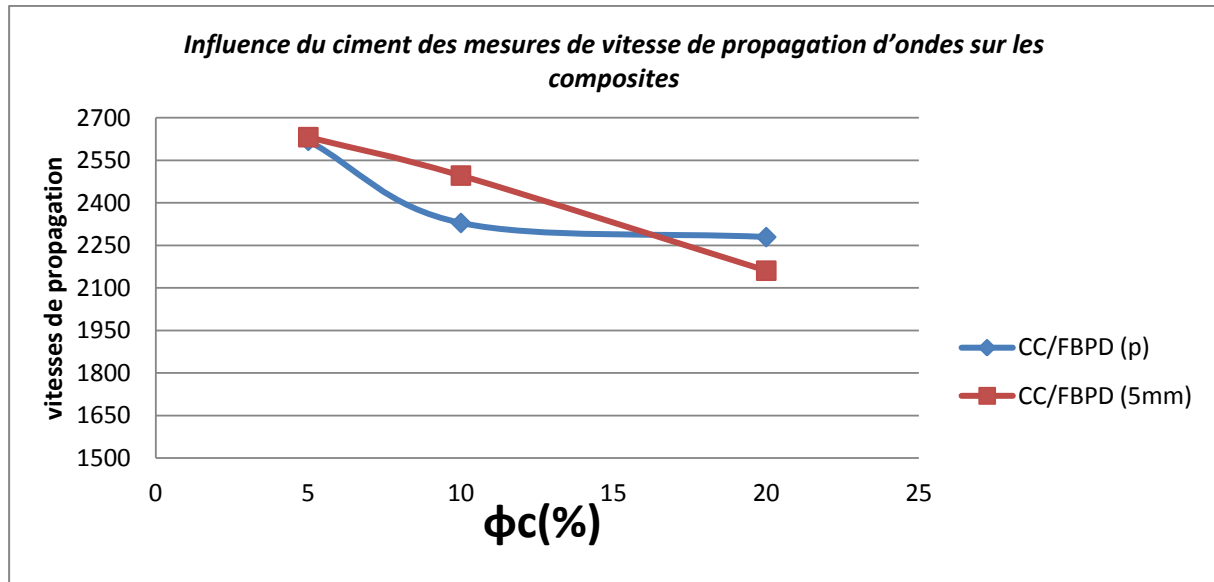


Figure III.6 : Vitesse de propagation pour les composites.

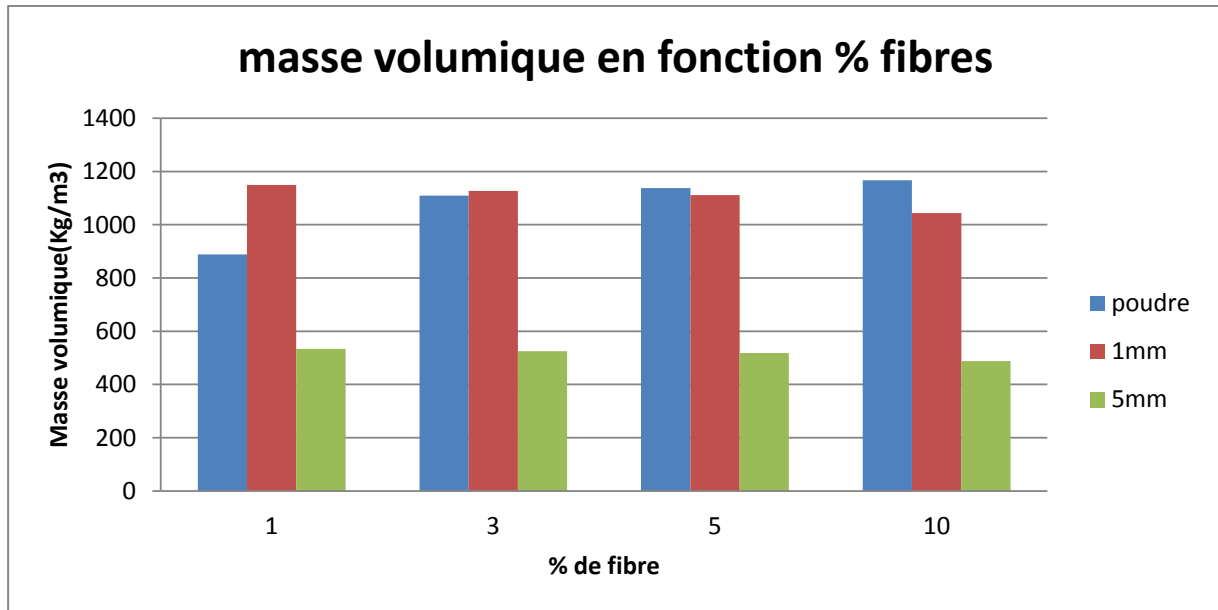
A partir des résultats de cet essai on a remarqué que les valeurs sont décroissantes avec l'augmentation de la quantité du ciment.

IV propriétés thermophysique :

IV.1 masse volumique :

IV.1.1 variation de taux de fibre :

La figure III.7 montre les masses volumiques des échantillons en fonction de la teneur en fibres après un séchage de 7 jours dans les étuves à une température de 70 C° et 14 jours à l'air libre.



La figure III.7 : masse volumique en fonction du pourcentage de fibres.

D'après la figure III.7 la masse volumique des échantillons diminue avec l'augmentation de la concentration de fibres pour les échantillons CC/FBPD₍₁₎ et CC/FBPD₍₅₎, la masse volumique diminue de 1149 kg/m³ à 1043 kg/m³ pour CC/FBPD₍₁₎ et de 1041 kg/m³ à 952kg/m³. Ce résultat est en accord avec ce qui est présenté dans une autre étude [29]. Ce dernier a indiqué que l'augmentation du pourcentage de fibres naturels dans la matrice minérale diminue la masse volumique des composites, Cette diminution est liée d'une part à la faible masse volumique des inclusions et d'autre part, au vide présent dans la matrice engendré par la perte d'eau des fibres.

Par contre pour la poudre la masse volumique augmente avec l'augmentation de la concentration de fibres, cela peut être due à la masse volumique des fibres à l'état poudre est plus importante qu'à des fibres d'un diamètre de 1mm et de 5mm, vu que la masse volumique du composite est liée à la masse volumique des inclusions.

IV.1.2 variation de taux de ciment :

La figure III.8 montre les masses volumiques des échantillons en fonction du pourcentage de ciment après un séchage de 7 jours dans des étuves sous une température de 70 C° et 14 jours à l'air libre.

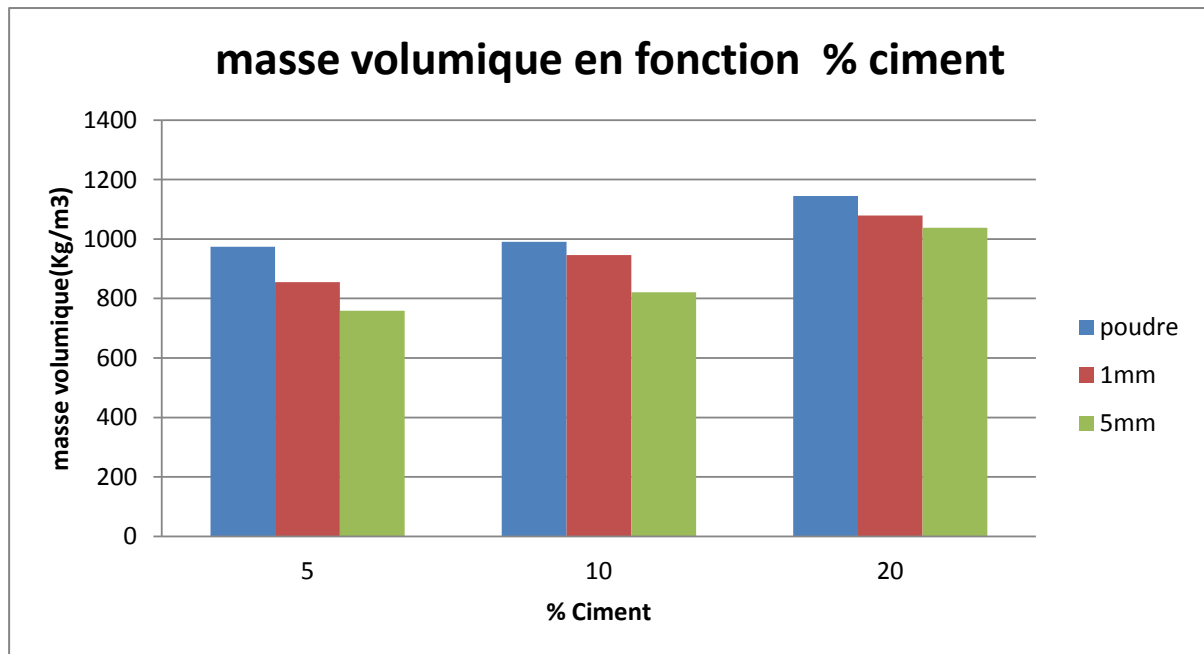


Figure III.8 : masse volumique en fonction du pourcentage de ciment.

On remarque qu'avec l'ajout du ciment la masse volumique augmente, car le vide présent dans la matrice engendré par la perte d'eau des fibres diminue, vu que la concentration des fibres reste constante et le taux du ciment augmente, donc il va occuper ces vides, cela produit une amélioration selon la masse volumique des composites.

IV.2 Conductivité thermique :

La conductivité thermique k est une grandeur physique importante qui caractérise la capacité isolante d'un matériau. Plus le coefficient k est faible, plus le pouvoir isolant d'un matériau est grand. Sa valeur dépend de plusieurs facteurs, dans cette partie nous discutons deux paramètres, la teneur en fibre et deuxièmement la variation de la quantité du ciment dans nos composites.

L'évolution de la conductivité thermique des composites CC/FBPD_(p), CC/FBPD₍₁₎ et CC/FBPD₍₅₎ sont représentées dans les tableaux III.7 et III.8

IV.2.1 variation de taux de fibre :

Le tableau III.7 présente la variation de k en fonction de la teneur de fibres. **Le tableau III.7 : conductivité thermique en fonction de la teneur en fibre.**

$\phi_f(\%)$	CC/FBPD _(p)	CC/FBPD _(1mm)	CC/FBPD _(5mm)
0	0,362(W.m ⁻¹ K ⁻¹)	0,362	0,362
1	0,372	0,333	0,395
3	0,318	0,351	0,378
5	0,331	0,385	0,316
10	0,346	0,342	0,288

La figure III.9 représente la conductivité thermique des composites en fonction de la teneur en fibre.

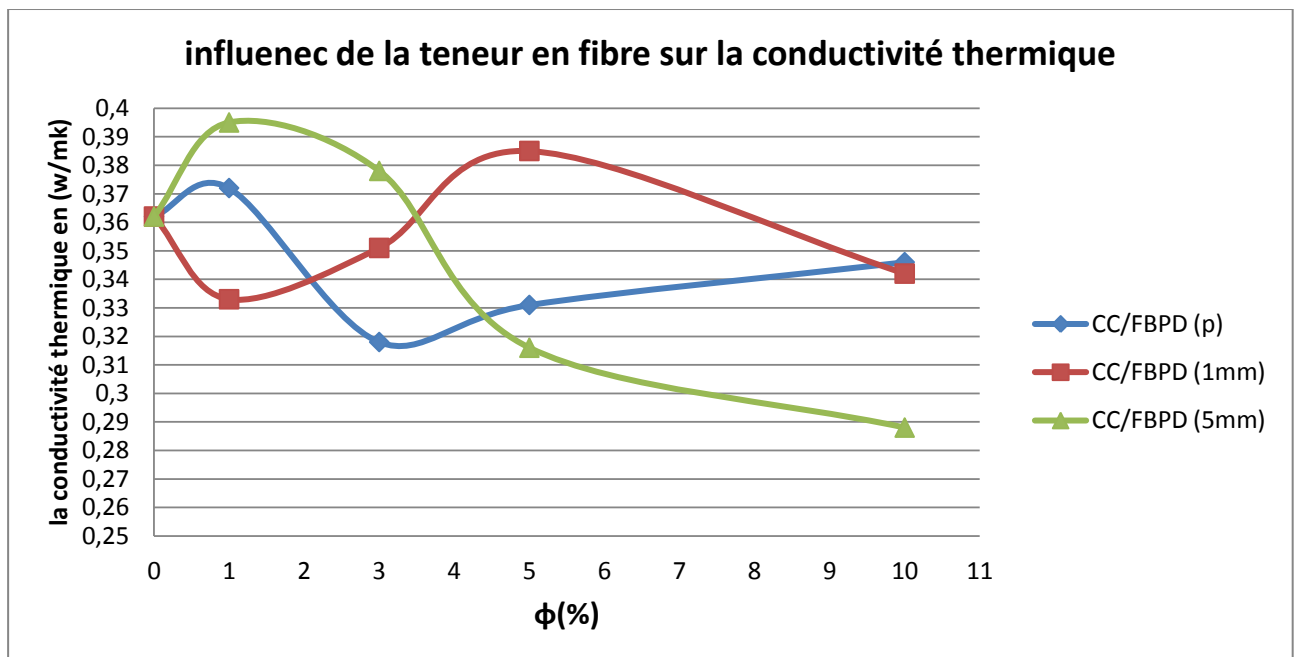


Figure III.9 : la conductivité thermique des composites en fonction de la teneur en fibre.

- Pour les échantillons CC/FBPD_(p), on remarque que la valeur de la conductivité thermique avec l'ajout de la fibre parfois augmente parfois diminue, le pourcentage de fibre de 3% nous donne la meilleur valeur de la conductivité thermique.
- Pour les échantillons CC/FBPD₍₁₎ du 1% de fibre jusqu'à 5% la conductivité thermique augmente.

Et à partir de 5% de fibre elle décroît. Ce comportement confirmé par plusieurs études [39.40.41], les auteurs indiquent qu'avec l'augmentation de la teneur en fibre la conductivité thermique diminue.

- Pour les échantillons CC/FBPD₍₅₎ à partir de 1% de fibre on observe que la conductivité thermique décroît avec l'ajout de la teneur en fibre de palmier dattier, donc une amélioration dans l'isolation thermique des composites, ces résultats sont confirmé par plusieurs auteurs [39.40.41], d'après ces auteurs l'augmentation de la teneur en fibre naturelle améliore l'isolation thermique.

IV .2.2 Variation du taux de ciment :

Le tableau III.8 présente la variation de k en fonction de la teneur en ciment.

Tableau III.8 : la conductivité thermique des composites en fonction du (%) ciment.

$\phi\%$	CC/FBDP _(p)	CC/FBDP _(1mm)	CC/FBDP _(5mm)
5	0,38(W.m ⁻¹ K ⁻¹)	0,314	0,277
10	0,412	0,405	0,3
20	0,353	0,324	0,32

La figure III.10 représente la variation de la conductivité thermique des composites en fonction de la variation de la quantité du ciment.

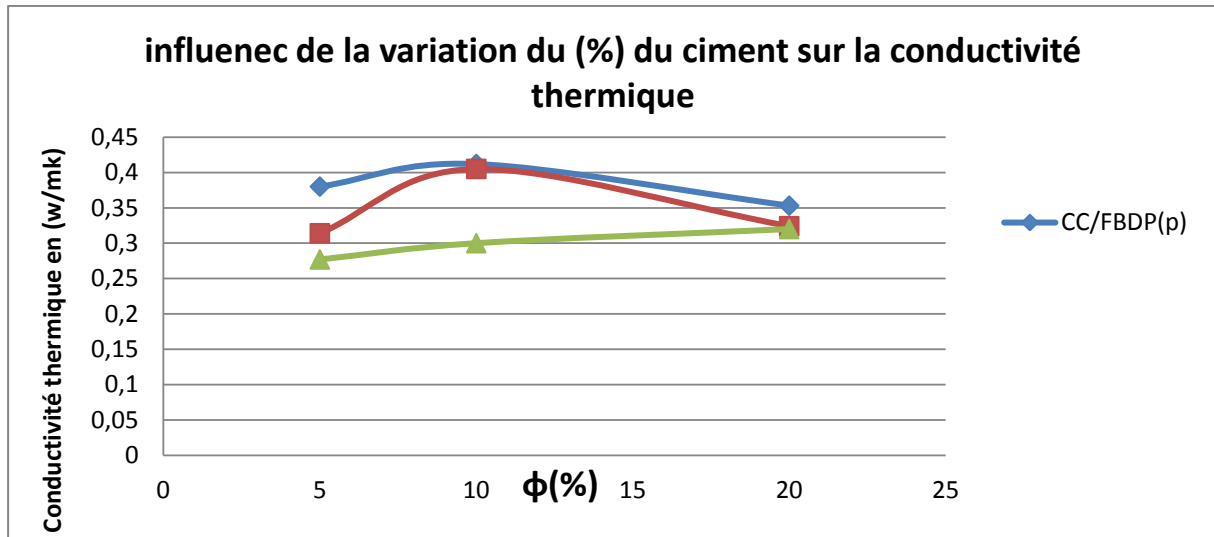


Figure III.10 : variation de la conductivité thermique en fonction du (%) ciment.

D'après la figure III.10 l'augmentation de la quantité du ciment de 5% à 10% induit une augmentation de la conductivité thermique pour les composites CC/FBDP(p) et CC/FBDP(n) ensuite pour 20% elle diminue par rapport à 10%.

On a vu précédemment que l'augmentation de la teneur en fibre améliore l'isolation thermique pour les échantillons CC/FBDP(s), alors que l'augmentation de la quantité du ciment diminue cette dernière, donc le ciment affaiblit le rôle des fibres, car la conductivité thermique du ciment est vraiment élevée par rapport à celle des fibres de palmier dattier.

Conclusion sur la mesure de la conductivité thermique :

A partir des résultats obtenus dans ce travail nous pouvons supposer que l'ajout des fibres de palmier dattier de diamètre de 5mm pourrait considérablement améliorer l'isolation thermique des composites.

La conductivité thermique du matériau composite dépend de celles des renforts qui le constituent, plus la conductivité thermique des inclusions est faible, plus le matériau est isolant, et dans notre étude le renfort c'est les fibres de palmier dattier, qui ont une conductivité thermique plus faible par rapport à celle de la matrice du mortier.

L'ajout du ciment affaiblit l'isolation thermique des composites.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté le comportement mécanique et les propriétés thermophysiques (conductivité thermique et masse volumique) de composites à base de ciment-chaux renforcée par des fibres de palmier dattier, en tenant compte la concentration massique et la taille des fibres.

Le comportement mécanique (résistance à la flexion et à la compression) a été mesuré et analysé. Nous avons conclu que la résistance à la flexion et à la compression varie avec la variation de la teneur en fibre et aussi de la variation du taux de ciment.

D'autres part, les propriétés thermophysiques de ces biocomposites ont été mesurées et étudiées. On a indiqué que la masse volumique et la conductivité thermique varie en fonction de la concentration des fibres, et aussi en fonction de la concentration du ciment.

Les résultats montrent que l'incorporation de 10% de CC/FBPD₍₅₎ dans la matrice (ciment-chaux) produit un composite ayant une $k = 0.288$ (W.m⁻¹.K⁻¹) et une résistance à la flexion $R = 12.82$ MPa. Ce sont les meilleurs résultats dans notre travail.

Et pour la résistance à la compression la meilleur valeur est $R = 8.85$ MPa, cette dernière est acquise lorsqu'on incorpore 3% de CC/FBPD₍₁₎ dans la matrice (ciment-chaux).

Il est a noté que l'effet de la concentration des fibres de bois de palmier dattier sur (ciment-chaux) est très significatif sur le comportement de la conductivité thermique des composites. Tandis que, les propriétés mécaniques sont fortement influencées par la concentration et la taille des fibres.

Ce travail a été consacré au développement d'un nouveau matériau composite à base de fibres de bois de palmier dattier destiné pour l'isolation thermique dans le bâtiment en Algérie. Cette étude concerne l'élaboration et la caractérisation mécanique et thermique de matériaux biocomposites.

Une étude expérimentale est menée au sens d'identifié de nouveau matériau pour une bonne application.

En effet, cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

Les résultats expérimentaux des propriétés thermo-physiques et mécaniques de composite mortier/fibres de palmier dattier ont été présentés et analysés.

Les propriétés thermophysiques, nous avons constaté que la conductivité thermique et la masse volumique de la matrice (ciment-chaux) diminue avec l'augmentation de la concentration de fibres de diamètre de 5mm.

Concernant les propriétés mécaniques, il a été donné que l'ajout de fibres de palmier dattier induit une diminution de la résistance à la compression des composites. Il a été noté que des valeurs de résistances mécaniques optimums ont été obtenues à des concentrations de fibre 3% et 5% pour les diamètres poudre et 5mm.

En comparant les résultats issus dans cette thèse avec ceux existant dans la littérature, on note que les matériaux développées sont compétitives pour le rôle d'isolant thermique, pour une application dans le bâtiment en Algérie.