

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Saâd Dahlad de Blida



Faculté de technologie
Département de Génie Mécanique



Projet de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme MASTER en Génie Mécanique
Option : Matériaux et Traitements de Surfaces

Thème

*Matériau composite renforcée par les fibres
naturelles utilisées dans l'isolation thermique*

Proposé et dirigé par :
Dr. CHIKHI Mourad

Présenté par :
BENARAB Hocine

Année universitaire 2014 - 2015



Remerciements

Nous remercions tous d'abord, dieu tout puissant de nous avoir donné santé et volonte

Pour réaliser ce mémoire.

Ce travail a été initié, au Laboratoire de génie mécanique département de mécanique faculté de technologie, université Saad Dahleb-Blida.

*En premier lieu, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et ma gratitude à Monsieur **CHIKHI Mourad** merci d'accepter mes meilleurs sentiments et mes sincères remerciements pour votre contribution et votre aide permanent durant le déroulement de ce travail.*

*Je tiens à remercier vivement et respectueusement à monsieur. **FORTASS Abdelkader**, chef de laboratoire de génie civil pour sa bienveillance et d'avoir contribué à la réalisation de ce projet en m'encadrant durant les différentes étapes de réalisation de ce projet d'étude.*

*Je tiens à remercier les personnels des laboratoires de **CNERIB** et surtout Mr **Mokhtar MEZIAN** qui m'ont permis d'effectuer la partie expérimentale de cette thèse dans de très bonnes conditions*

*Je tiens à remercier chaleureusement mon ami **Ben Omar Yacine** pour son collaboration
Ainsi qu'à toute personne qui ma aidé de près ou de loin pour réaliser ce modeste travail.*

H. BENARAB

A decorative border of palm trees surrounds the text. The border consists of a top row of 18 palm trees, a bottom row of 18 palm trees, and two vertical columns of 18 palm trees each on the left and right sides.

Dédicaces

Je dédie ce travail:

A ma mère et mon père qui me sont

les plus chers au monde

A mes frères et sœur, à ma famille

A tous mes amis et collègues

A tous ceux qui m'ont aidé à finir ce

Mémoire.

H. BENARABE

Résumé

L'objectif de cette étude, c'est la performance des propriétés mécaniques du mortier gypse renforcés avec différents taux d'ajout de fibres de palmier dattier, afin d'élargir le domaine de l'utilisation de ce matériau dans la construction. Pour le bute d'isolation acoustique et thermique, Les propriétés mécaniques du mortier de fibres dépendent de plusieurs facteurs et qui sont : les conditions de mise en œuvre, le dosage, le taux de gâchage, le diamètre des fibres, ainsi que les conditions de séchage du mortier.

Au cours de cette étude nous avons étudié les caractéristiques mécaniques, et nous avons conclure que le renforcement des mortiers par des fibres fines de palmier dattier ont une meilleure résistance à la flexion et à la compression que celle des mortiers renforcés par des fibres grosses, et de façon générale nous avons constaté que la présence des fibres a rendu notre matériau plus ductile.

Par ailleurs, nous avons soumis aussi nos mortiers aux essais de la teneur en eau, et nous avons conclue que l'absorption d'eau dépend de deux vecteurs, la surface spécifique des fibres et le temps d'exposition à l'eau.

Nous avons trouvé aussi que notre matériau est semi-conducteur avec $\lambda = 0.20 \text{ W/m}\cdot\text{k}$, et on trouve que ce matériau est un isolant phonétique.

A partir des résultats de cette étude et avec une comparaison aux autres matériaux utilisés dans la construction précédemment étudiés, on peut considérer que notre matériau est un bon conquérant des matériaux utilisés dans la construction.

Mots clés : gypse, plâtre, fibres, palmier dattier, compression, flexion, conductivité thermique, chaleur spécifique, diffusivité thermique.

Abstract

This study is interested in the mechanical and thermal performances of gypsum mortar reinforced with different rates of fiber palm date, to expand the field of use of this material in construction.

The mechanical properties of fiber mortar depend on several factors such as: the conditions of implementation, dosing, mixing rate, the fiber diameter and the mortar drying conditions.

In this study we showed the mechanical properties, and we could conclude that mortars reinforced by strength fibers palm date have better resistance to flexural fine and to compression strength than the mortar reinforced with coarse fibers, and in general we found that the presence of fibers made our material more ductile.

We also subject our mortar to the water absorption test, and it depends on two parameters: the specific surface of the fibers and the exposure time to water.

We also found that our material is semi conductor with $\lambda=0.20W/m.^{\circ}k$, and found this material is a phonetic insulation.

From the results of this study and a comparison with other materials used in the construction previously studied, we can consider that our material is a good conqueror of materials used in construction.

Key words: date palm, fibers, mortar, gypsum, compressive, flexural, thermal conductivity, specific heat, thermal diffusivity

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو دراسة أداء الخصائص الميكانيكية لخليط جبس - ألياف النخيل لتوسيع مجالات استخدام هذه المواد في البناء . ان خصائص الميكانيكية الخليط جبس - ألياف النخيل تعتمد على عدة عوامل و شروط منها:شروط التنفيذ، الجرعات، معدل الخلط، قطر الألياف وظروف التجفيف.

في هذه الدراسة قمنا ببحث الخواص الميكانيكية،وخلصنا إلى أن تعزيز الخليط جبس-ألياف النخيل الكبيرة لديها مقاومة أفضل للانثناء والضغط من الخليط جبس-ألياف النخيل معززة بالألياف الصغيرة.

وجدنا في هذه الدراسة أن هذا المزيج عازل للصوت و نصف ناقل للحرارة و محب للماء.

الكلمات المفتاحية: ألياف النخيل، الجبس، الانثناء، الضغط، الحرارة النوعية، النقالية الحرارية، الانتشار الحراري.

Liste des figures:

Figure n°	Désignation	Page n°
Figure. I.1	Les différents constituants de bases.	04
Figure. I.2	Les différents types de matrices	05
Figure. I.3	Principaux matériaux de renfort	07
Figure. I.4	Morphologie des renforts discontinus	07
Figure. I.5	Morphologie des renforts continus	08
Figure I.6	structure d'arbre de palmier	14
Figure I.7	Schéma d'une palme	16
Figure I.8	La famille des hydrates de sulfate de calcium	18
Figure I.9	Images MEB des plâtres Prestai (usine Mariel du groupe Lafarge) obtenues respectivement par voie humide (α) et voie sèche (β)	20
Figure I.10	Evolution de la porosité du plâtre pris en fonction du taux de gâchage	21
Figure II.1	Différentes parties du bois de palmier dattier	32
Figure II.2	Appareil de tamisage du bois de palmier dattier	33
Figure II.3	Fibres de palmier dattier utilisés	34
Figure II.4	la procédure de mise en œuvre des échantillons.	37
Figure II.5	Malaxeur automatique de type Perrier.	38
Figure II.6	Moules pour essai mécaniques (40 mm × 40 mm × 160 mm) (b) Moules pour essai Thermiques (100 mm × 100 mm × 50 mm).	38
Figure II.7	Eprouvettes pour essais mécaniques (40 mm × 40 mm × 160 mm) Eprouvettes pour essais thermiques (100 mm × 100 mm × 50 mm)	39
Figure II.8	Coupe transversale des composite fabriqué	39
Figure II.9	la machine de flexion.	41
Figure II.10	Schéma du montage de flexion 3 points.	41
Figure II.11	la machine de compression	42
Figure II.12	Appareil CT METRE	43
Figure II.13	Principe de la mesure de λ	43
Figure.II.14	Types d'ondes et modes de propagation des ultrasons dans un solide	45
Figure II.15	Schéma d'appareillage de control ultrason	46
Figure III.16	Appareil de mesure d'ultrason	47
Figure III.1	Variation de l'absorption de l'eau par les composites G/FBPD _{GE}	51

	traitées	
Figure III.2	Absorption de l'eau par les composites G/FBPD _{FE}	52
Figure III.3	Résistance à la flexion des composites G/FBPD _{GE} et G/FBPD _{FE}	53
Figure III.4	Résistance à la flexion des composites G/FBPD _{GH} et G/FBPD _{FH}	54
Figure III.5	Résistance à la flexion des composites G/FBPD _{GE} et G/FBPD _{GH}	55
Figure III.6	Résistance à la flexion des composites G/FBPD _{FE} et G/FBPD _{FH}	56
Figure III.7	Résistance à la compression des composites G/FBPD _{GE} et G/FBPD _{FE}	57
Figure III.8	Résistance à la compression des composites G/FBPD _{GH} et G/FBPD _{FH}	58
Figure III.9	Résistance à la compression des composites G/FBPD _{GE} et G/FBPD _{GH}	59
Figure III.10	Résistance à la compression des composites G/FBPD _{FE} et G/FBPD _{FH}	60
Figure III.11	Evolution de la conductivité thermique des composites (G/FBPD _{GE}) en fonction de la concentration des fibres.	62
Figure III.12	Evolution de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique des composites	63
Figure III.13	Vitesses de propagation des ondes ultrasonores dans nos composites G/FBPD _{GE} et G/FBPD _{FE}	66
Figure III.14	les fréquences des ultrasons dans les composites <i>G/FBPD_{GE}</i> et <i>G/FBPD_{FE}</i>	67

Liste des tableaux :

Tableau n°	Désignation	Page n°
Tableau I.1	Composition chimique de quelques fibres naturelles	10
Tableau I.2	Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales	11
Tableau I.3	Application des divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment	12
Tableau I.4	Composition Chimique du bois du palmier dattier	16
Tableau I.5	propriétés caractéristiques d'un éco-matériau	27
Tableau II.1	Composition chimique du gypse.	35
Tableau II.2	Masses de fibres et de matrices correspondantes aux fractions massiques.	36
Tableau III.1	Taux d'augmentation de masse des composites étuvés G/ FBPD _{GE} traitée immergés dans l'eau.	50
Tableau III.2	Taux d'augmentation de masse des composites étuvés G/ FBPD _{GE} non traités immergés dans l'eau.	52
Tableau III.3	les résultats obtenus d'essais de résistance à la flexion des composites G/FBPD _{GE} , G/FBPD _{FE} , G/FBPD _{GH} et G/FBPD _{FH}	53
Tableau III.4	les résultats obtenus d'essais de résistance à la compression des composites G/FBPD _{GE} , G/FBPD _{FE} , G/FBPD _{GH} et G/FBPD _{FH}	57
Tableau III.5	Les Valeurs de la résistance à la compression et à la flexion de composites à base de gypse.	61
Tableau III.6	la conductivité thermique, la chaleur spécifique, la diffusion thermique et la masse volumique de G/FBPD grosse étuvé.	62
Tableau III.7	Comparaison de résultats obtenus pour λ et ρ	64
Tableau III.8	Variation des vitesses de propagation des ondes ultrasonores dans différentes concentration de G/FBPD	65
Tableau III.9	Le temps et les fréquences de propagation des ondes ultrasons dans les composites G/FBPD _{GE} et G/FBPD _{FE}	67

Listes de termes, d'abréviations, d'acronymes

Symbole	Définition	Unité
a	Diffusivité thermique	m ² /s
C _p	chaleur spécifique	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
λ	conductivité thermique	w. m ⁻¹ k ⁻¹
T	température	°C
S	surface	mm ²
F	force	N
σ _c	Contrainte de compression	MPa
σ _f	Contrainte de flexion	MPa
H	taux d'humidité	%
L	longueur	mm
ρ	Masse Volumique Absolue	Kg/m ³
ρ _f	Masse Volumique de fibre	Kg/m ³
ρ _m	Masse Volumique de matrice	Kg/m ³
ρ _c	Masse Volumique de composite	Kg/m ³
φ _f	fraction massique	%
m	masse	g
m _f	masse de fibres	g
m _m	masses de matrice	g
m _c	masse de composite	g
w _m	poids humide au temps (t)	g
w _d	Poids sec	g
V	volume	m ³
t	temps	s
R	rapport	--
e	La quantité de l'eau	g ou L
p	La quantité de matériaux	g

FBPD: fibre de bois de palmier dattier.

FBPDF: fibre de bois de palmier dattier fine

FBPDFE: fibre de bois de palmier dattier fine étuvé

FBPDFH: fibre de bois de palmier dattier fine humide

FBPDG: fibre de bois de palmier dattier grosse

FBPDGE: fibre de bois de palmier dattier grosse étuvé

FBPDGH: fibre de bois de palmier dattier grosse humide

G/ FBPD: composite gypse et fibre de bois de palmier dattier

G/ FBPDG: composite gypse et fibre de bois de palmier dattier grosse

G/ FBPDGE: composite gypse et fibre de bois de palmier dattier grosse étuvé

G/ FBPDGH: composite gypse et fibre de bois de palmier dattier grosse humide

G/ FBPD: composite gypse et fibre de bois de palmier dattier fin

G/ FBPDFE: composite gypse et fibre de bois de palmier dattier fin étuvé

G/ FBPDFH: composite gypse et fibre de bois de palmier dattier fin humide



Sommaire

SOMMAIRE

Liste des tableaux

Liste des Figures

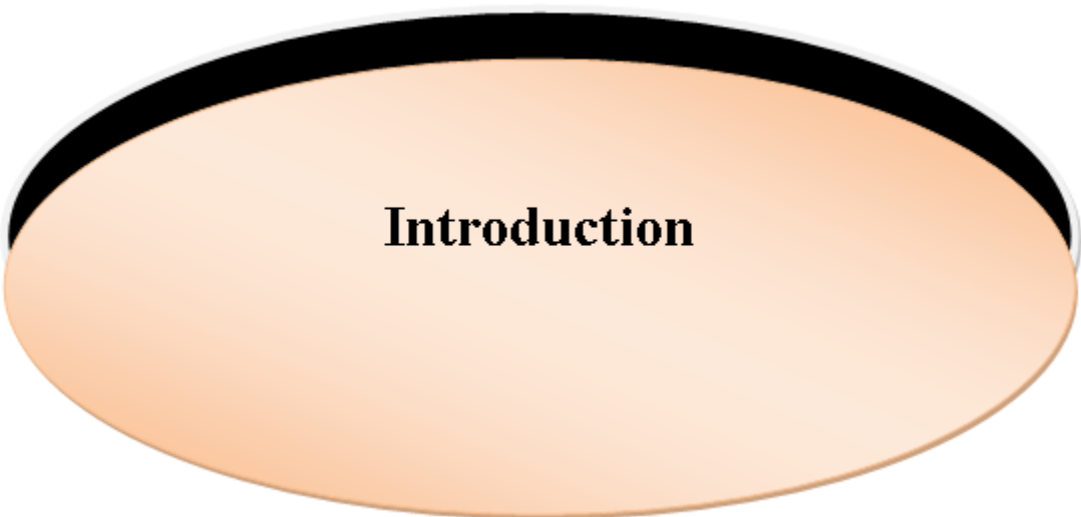
Listes des symboles et Abréviations

Introduction

CHFITRE I : Etude bibliographique	
I. Introduction.....	03
II. Présentation des matériaux composites.....	03
II.1. Les matériaux composites.....	03
II.2. Classification des composites.....	04
II.3. Procédé de fabrication.....	04
III. Les matrices.....	05
III.1. Les matrices organiques.....	05
III.2. Les matrice inorganique.....	06
IV. Les renforts.....	07
IV.1. Les fibres naturelles.....	08
IV.1.1 Fibres minérales	08
IV.1.2. Fibres végétales.....	08
IV.2. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales.....	11
IV.3. Utilisation des fibres dans la construction	11
V. Morphologie de bois de palmier dattier BPD.....	13
V.1. Bois de Palmier Dattier (phoenixdactylifera).....	13
V. 2. Composants du bois de palmier dattier.....	14
V.3. Composition chimique.....	16
VI. Matrice.....	16
VI.1. Plâtre.....	17
VI.2. Le gypse.....	18
VI.3. Les produits de déshydratation du gypse.....	19
VI.4. Le taux de gâchage.....	20
VI.5.Origine des propriétés mécaniques du plâtre pris.....	21
VII. Composites Naturels.....	21
VII.1. Matériaux composites à base de Fibres Naturelles.....	22
VII.2 Etat de l'art sur les composites naturels.....	24

VII.2.1. Matrice polymère et fibres végétales.....	24
VII.2.2 Matrice minérale et fibres végétales.....	25
VIII. Composites bois-gypse.....	25
VIII.1. Méthodes de mise en œuvre de composites bois-gypse.....	26
IX. Eco-matériaux.....	27
Conclusion.....	28
CHAPITRE II : Matériaux et méthodes de mesures	
I. Introduction	32
II. Matériaux	32
II.1. Bois du palmier dattier (BPD).....	32
II.1.1. Broyage mécanique	32
II.1.2. Analyse granulométrique	33
II.1.3. Activation des fibres prétraitement par les alcalins.....	34
II.1.4. Traitement chimique de fibre de palmier dattier.....	34
II.2 Le gypse	35
III. Préparation des composites	35
III.1. Choix du taux de gâchage	35
III.2. Calcul des masses de fibres et de matrice dans les composites.....	36
III.3. Mise en œuvre des échantillons.....	37
IV. Essais et mesures.....	40
IV.1. Résistance à l'eau	40
IV.2. Essais mécaniques.....	40
IV.2.1. Essai de flexion.....	40
IV.2.2. Essai de compression.....	41
IV.3. Caractérisation thermophysique.....	42
IV.3.1 Diffusivité thermique.....	44
IV.4. Essai de mesure d'ultrason.....	44
IV.4.1. Bases physiques du contrôle ultrasonore.....	45
IV.4.2. Différents types d'ondes	45
IV.4.3. Phénomènes de propagation.....	46
IV.4.4. Production et détection des ultrasons	46
IV.4.5. Étalonnage.....	47
IV.4.6. Champ d'application et évolution du contrôle ultrasonore.....	48

Conclusion.....	48
Chapitre IV : Résultats et discussions	
I. Introduction.....	50
II. Effet de l'eau.....	50
II.1. Résistance à l'eau.....	50
III. Résulta mécanique.....	53
III.1. Résistance à la flexion.....	53
III.2. Résistance à la compression	57
III.3. Comparaison avec les résultats mécaniques	60
IV. Essai thermique.....	61
IV.1. Corrélation entre la conductivité thermique et la masse volumique.....	63
IV.2. Comparaison avec des composites naturels.....	64
V. Ultrasons.....	65
Conclusion.....	69



Introduction

Introduction :

Lorsqu'on conçoit une structure, un produit ou un système, il y a une large gamme de matériaux disponibles, car les matériaux ont toujours joué un rôle central dans le développement de notre civilisation, puisqu'il n'y a pas un matériau idéal au parfait, mais il y a des matériaux présentant des propriétés optimales. En plus des propriétés mécaniques, optiques, thermiques, chimiques, etc. et d'autres caractéristiques telles que l'aptitude à la mise en œuvre et l'esthétique intervient dans le choix d'un matériau.

Si les premiers pas de l'humanité ont été marqués par l'âge de la pierre du bronze et du fer, aujourd'hui une grande diversité de matériaux (alliage métalliques, plastiques matériaux composite, céramique,...) contribue à nos besoins sociaux (habitat, transport habillement, communication, loisirs,...). Les matériaux sont à la base de toutes les mutations technologiques que nous connaissons, en effet tous les équipements modernes (machines ordinateurs, véhicules, avion,...) ne seraient pas possibles sans la maîtrise et le développement de matériaux nouveaux

Ce développement s'est accéléré ces dernières décennies grâce aux connaissances scientifiques acquises sur la nature des liens unissant les éléments structuraux des matériaux et leurs propriétés. Les connaissances acquises sur les matériaux sont le fruit d'un passé chargé de découvertes particulièrement en métallurgie et en science fondamentales (physique et chimie)

Alors la science des matériaux elle permet d'étudier et de comprendre les relations entre les propriétés et les structures des matériaux. La compréhension des comportements macroscopiques des matériaux est gouvernée par la compréhension des mécanismes et des phénomènes microstructuraux à cause des plusieurs critères qualitatifs et quantitatifs le meilleur choix d'un matériau pour une utilisation donnée.

Le protocole de Kyoto sur le changement climatique mondial a eu pour effet d'accélérer la transition vers une économie durable et plus respectueuse à l'environnement. Cette évaluation s'effectue avant tout par remplacement progressif des produits pétrochimiques par des ressources renouvelables, tel que l'exploitation des matériaux locaux de manière rationnelle la recherche actuelle sur les matériaux s'intéresse au développement de nouveaux composites de construction, dans le but d'améliorer les propriétés mécaniques physiques durabilité de ses matériaux.

L'utilisation des fibres végétales dans les matériaux de construction pour améliorer certaines propriétés, c'est une technologie utilisée pour élargir l'utilisation d'éco-matériaux

Algérie dispose de sources illimitées de fibres végétales mais leur utilisation dans le domaine de construction est presque rare.

Dans le premier chapitre de ce mémoire, nous présentons une généralité sur les matériaux composites et quelques définitions concernant les matrices et les renforts, les procédés de fabrication, les opérations des finitions et de contrôle, enfin la conception d'une pièce.

Le deuxième chapitre est une synthèse bibliographique sur les matériaux utilisés dans ce travail, les fibres de bois de palmier dattier et le gypse, en précisant leurs compositions chimiques, leurs caractéristiques thermiques et mécaniques. Ensuite, les méthodes de mise en œuvre des composites Bois de palmier dattier/ gypse sont présentées.

Dans le troisième chapitre, nous nous intéressons à la première partie. Une étude granulométrique sur les fibres de bois de palmier dattier nous renseigne sur la taille des fibres utilisées. Ainsi la mise en œuvre et au contrôle des échantillons de composites réalisés à base de gypse et de fibres naturelles (fibres de bois de palmier dattier). Dans la deuxième partie nous mettons nos échantillons à des différents essais, thermiques, mécaniques, ultrason, et teneur en eau effectués sur les composites.

Nous présentons dans le quatrième chapitre les résultats des mesures de propriétés thermo-physiques et mécaniques et l'absorption d'eau des composites réalisés à base de gypse et de fibres de bois de palmier dattier. Dans cette partie nous discutons l'influence de la concentration et de la taille des fibres de bois de palmier dattier sur les propriétés mécaniques et thermo-physiques de ces bio-composites. Les résultats obtenus ont été comparés à ceux existants dans la littérature pour une application d'isolation thermique.

Enfin, nous présentons une conclusion générale sur l'étude élaborée et cela d'après les résultats expérimentaux, obtenus tout en donnant des recommandations à les prendre en considération dans les prochaines recherches et cela pour une meilleure exploitation de ces matériaux.



Chapitre I

Etude bibliographique

I. Introduction :

Dans ce chapitre, nous présenterons en premier lieu les matériaux composites, leurs différents constituants (renforts et matrices), leurs architectures et leurs caractéristiques.

Cette étude concerne les différents types de fibres naturelles, En avant-propos, nous devons définir d'abord les matériaux composites.

II. Présentation des matériaux composites

II.1. Les matériaux composites :

Un matériau composite est défini comme étant un assemblage d'au moins deux constituants non miscibles, mais ayant une forte capacité d'adaptation. Les qualités respectives des constituants associés se complètent pour former un matériau aux performances mécaniques, thermiques, électriques et/ou physico-chimiques améliorées. Le développement des matériaux composites ayant une ou plusieurs de ces propriétés particulières répond généralement à un besoin spécifié. Il est ainsi possible de créer des matériaux hétérogènes permettant par exemple, de réduire la masse d'une pièce, tout en améliorant ses propriétés mécaniques, grâce à l'association d'un renfort (fibreuse) et d'une résine organique. L'adaptabilité de ce matériau en fait un atout incontestable qui explique son utilisation de plus en plus répandue, notamment dans l'industrie du transport (aérien, maritime et ferroviaire), des sports et loisirs, et depuis peu dans l'industrie du bâtiment.

Le matériau composite est constitué d'un renfort, qui contribue aux propriétés mécaniques de la pièce, et d'un liant, appelé matrice. Le rôle de la matrice est d'assurer la cohésion entre les éléments du renfort, mais aussi de transférer les flux d'efforts entre les plis, de garantir la tenue à l'environnement (corrosion, vieillissement humide) et la tenue en température. Il existe aujourd'hui un grand nombre de matériaux composites qui peuvent être classés suivant différents critères. La nature de la matrice est un de ces critères qui permet de répartir les composites en trois grandes familles :

- les Composites à Matrices Organiques (CMO), telles que les polymères organiques (résine thermodurcissable ou thermoplastique) ;
- les Composites à Matrices Céramiques (CMC) réservés aux applications à haute température ;
- les Composites à Matrice Métallique (CMM).

Ces matériaux peuvent aussi être classés selon la nature du renfort, détaillée ci-après ou selon l'objectif recherché via leurs utilisations. Si l'optimisation des coûts est le principal objectif, on parlera de composites 'grande diffusion'. En revanche, pour une utilisation dans le but

d'optimiser les performances mécaniques ou thermiques, liées à une réduction de poids, on parlera de composite 'hautes performances. [1]

II.2. Classification des composites

➤ Suivant la forme des constituants

1. Fibres
2. Particules

➤ Suivant la nature des constituants

1. Composites à matrice organique
2. Composites à matrice métallique

- Fibres minérales (C, verre)
- Fibres organiques (kevlar)
- Fibres métalliques (Al)

3 .Composites à matrice minérale [2]

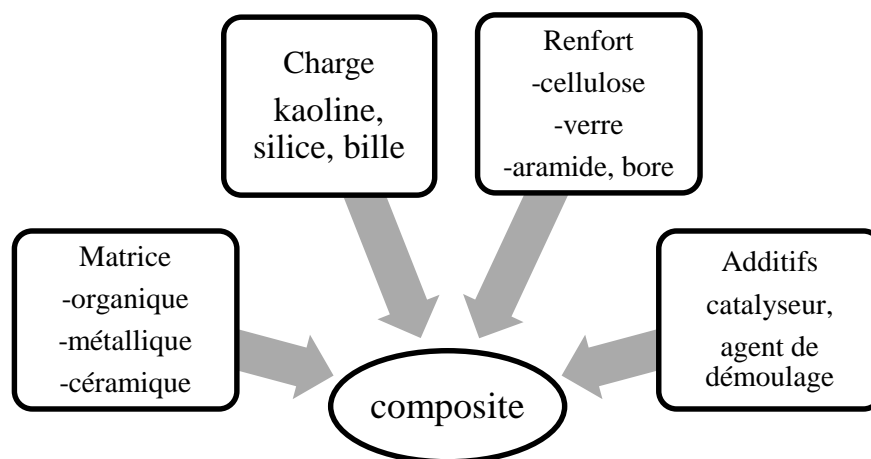


Figure. I.1 Les différents constituants de base. [2]

II. 3. Procédé de fabrication

L'obtention d'une pièce en matériaux composite résulte de la mise en œuvre simultanée ou séquence d'une résine (matrice) et de renforts fibreux de différentes natures presque tous les procédés font appel à un moule dont la définition et la constitution sont fonction de la technique de mise en œuvre en retenue dans le cadre de projet on classe les différents procédés en procédés artisanaux et procédés industriels [3].

III. Les matrices

La matrice de matériaux composite constitue l'enrobage des fibres et a pour le rôle de donner la forme de la pièce et de positionnement les fibres les uns par rapport aux autres. Elles transmettent les efforts entre les fibres et protègent les fibres de toute agression extérieure. Les résines doivent donc présenter une bonne compatibilité avec les fibres et doivent avoir une masse volumique faible. On distingue les différents types de matrices comme suit [4]

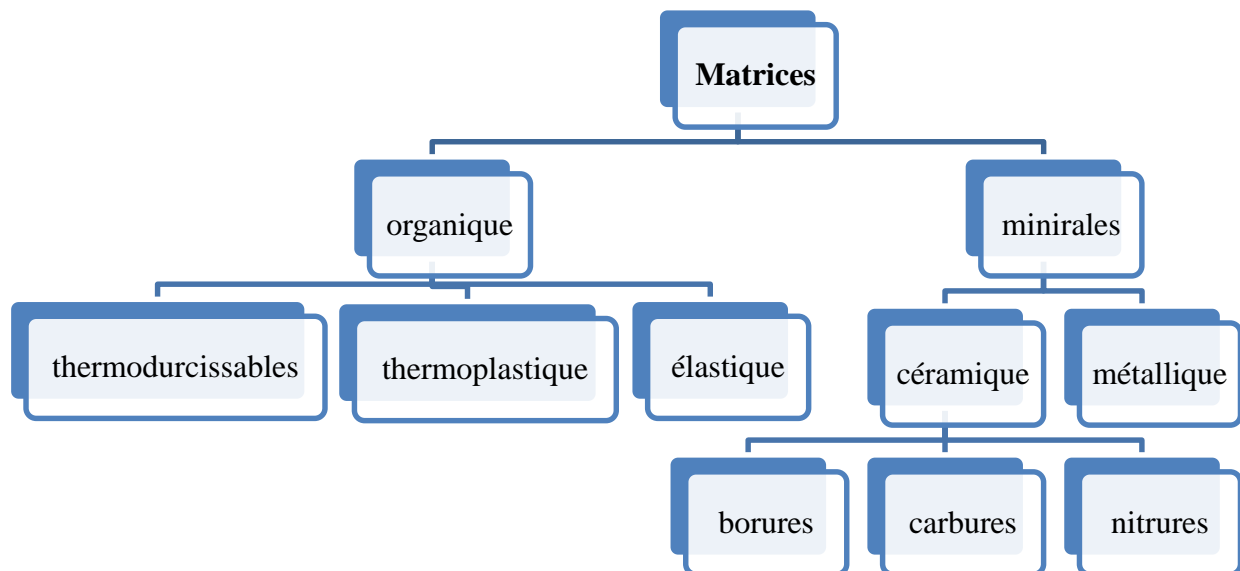


Figure. I.2 Les différents types de matrices [4]

III.1. Les matrices organiques

A- Les résines thermoplastiques : sont des polymères à chaînes linéaires ou ramifiées, c'est-à-dire monodirectionnelles ou bidirectionnelles. Elles sont en général fusibles et solubles. Les résines thermoplastiques présentent le gros avantage de pouvoir être alternativement ramollies par chauffage et durcies par refroidissement ce qui permet de faciliter leur moulage par viscoplasticité. Cette transformation est par ailleurs réversible, ce qui permet de recycler ce matériau. Les thermoplastiques sont mis en œuvre lorsque la température est voisine de leur température de transition vitreuse pour les thermoplastiques amorphes, et jusqu'à la température de fusion pour les thermoplastiques semi-cristallins. Renforcées avec des fibres courtes ou avec des fibres longues, l'utilisation de ces résines se développe fortement notamment comme matrice des composites "structuraux". Parmi les résines thermoplastiques utilisées dans les composites aéronautiques on peut citer le polyéther-imide (PEI), le polyphénylsulfure (PPS), le polyéther-éther-cétone (PEEK), le polyéther-cétone-cétone (PEKK).

B- Les élastomères : sont des polymères naturels ou synthétiques dont la structure particulière confère une importante élasticité (jusqu'à 500% d'allongement par rapport à la taille initiale). A titre d'exemple, nous pouvons citer les élastomères suivants : les silicones d'élastomères, les polyuréthanes, le néoprène, le latex, etc.

C- Les résines thermodurcissables sont les produits les plus employés comme matrice de matériaux composites "structuraux". Généralement associées avec des fibres longues, elles sont liquides ou liquides visqueuses et réticulent sous l'action thermiquement activée d'un catalyseur et d'un durcisseur. La transformation est irréversible et forme un produit infusible et insoluble. Actuellement, les résines thermodurcissables principalement utilisées sont les suivantes :

- **Les résines époxydes** qui possèdent de bonnes caractéristiques mécaniques. Les résines de classe 180°C, réticulant à 180°C, sont souvent utilisées avec un renfort en fibres de carbone pour la réalisation de pièces structurales aéronautiques.
- **Les résines phénoliques** utilisées dans les applications nécessitant des propriétés de tenue au feu imposées par les normes dans les transports civils. Ces polymères auto extingnibles présentent le désavantage d'être peu résistant aux sollicitations mécaniques.
- **Les résines polyamides** sont elles aussi très onéreuses, mais présentent d'excellentes propriétés mécaniques notamment à haute température. En dépit de leurs bonnes tenues mécaniques, ces résines sont très sensibles aux chocs. Afin de palier cet inconvénient, il est possible d'améliorer leur ténacité en les mélangeant avant polymérisation à des résines thermoplastiques. [4]

III.2. Les matrice inorganique

Cette section détaille les alternatives aux résines et aux thermoplastiques comme matériau de matrice dans les composites. En effet, les matrices métalliques et céramiques sont également susceptibles de voir leurs propriétés (résistance au fluage ou à l'usure, comportement thermique ou électrique modifié par l'adjonction de nano--charges...) améliorées par l'ajout d'une seconde phase.

L'utilisation de matrices métalliques et céramiques peut se justifier en outre au vu des limitations, bien qu'elles--mêmes toujours repoussées, des matrices polymères. Ce sont avant tout certaines propriétés mécaniques des résines combinées à l'emploi de renforts céramiques qui peuvent poser question. Pour chacune de celles--ci, des matériaux composites à matrice métallique ou céramiques peuvent être une alternative. [4]

IV. Les renforts

Le renfort du matériau composite est le constituant qui va supporter la plus grosse partie des efforts mécaniques. Il peut se présenter sous différentes formes

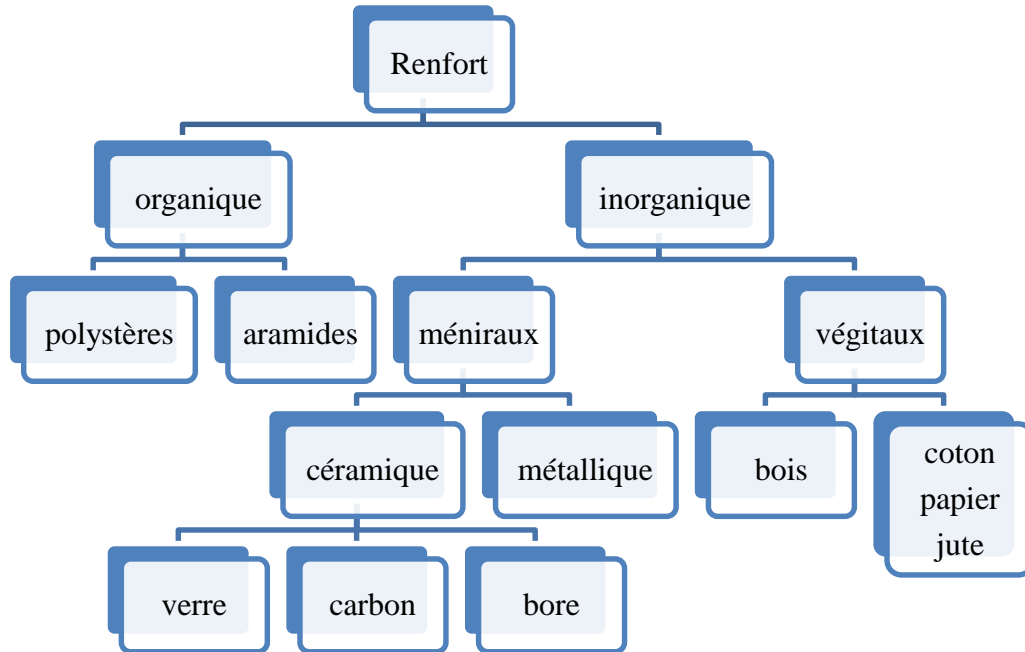
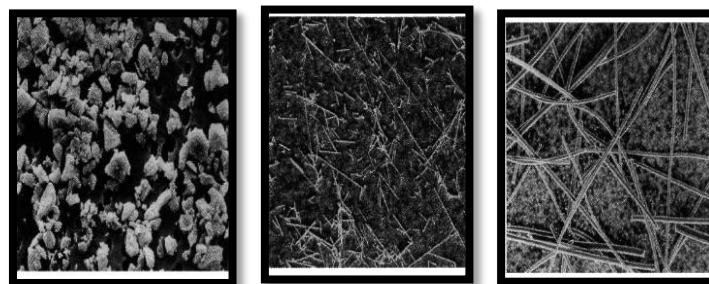


Figure I.3. Principaux matériaux de renfort [4].

- Particulaire, charges sous forme de microbilles, de fibres broyées, d'écaillés ou de
- Poudre micro ou nano particulaire,
- Fibres courtes, pour les renforts surfaciques non texturés tel que le mat,
- Fibres continues pour les renforts texturés tels que les tissus (taffetas, sergé et satin,...), ou les renforts unidirectionnels tels que les nappes.



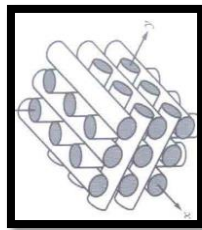
(a) Particules (b) Trichites (c) Fibre cour

Figure I.4. Morphologie des renforts discontinus.

Il existe des architectures fibreuses complexes multidirectionnelles 2D, 3D voir même 4D. Le type de tissu est choisi en fonction de sa durabilité, c'est à dire son aptitude à recouvrir la forme plus ou moins complexe de la pièce sans faire de plis. Il est aussi est surtout choisi en fonction des sollicitations mécaniques que va subir la pièce [4].



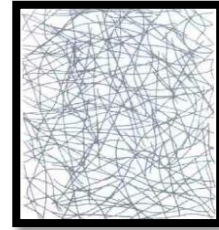
Unidirectionnelles



tissage Tridimensionnel



Tissus 2D



Mat aléatoire

Figure. I.5. Morphologie des renforts continus.

IV.1. 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 propriétés mécaniques. Les principales fibres utilisées sont [5].

IV.1.1. Fibres minérales : Elles englobent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine, ...etc.), et sont utilisées en grande quantité dans plusieurs applications traditionnelles. Les fibres d'amiante autrefois utilisées pour l'isolation et l'ignifugea, se sont révélées aujourd'hui cancérogènes [5].

IV.1.2. 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. [5]

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 [6].

De ces fait, plusieurs chercheurs tel que : NILSSON [7], AYYAR et al [8] 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 [9]. NILSSON [8] 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 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 [10].

d) 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 [11,12] ont montré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement des ciments

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

- **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 [11]. Les types les plus connus sont : Deglet Nour, 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 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 [11,12] :

- ❖ 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.

Le tableau I.1 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.1 : *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	[14]
Huile de palmiste	65	-	65	-	[15]
Banane	63-64	19	5	-	[15]
Chanvre	68	15	8	0.8	[15]
Sisal	65	12	9.9	2	[15]
Coton	85- 90	5.7	-	0.6	[15]

IV.2. 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 [11]. 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 [11,13]

Tableau 1.2 : *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	[10]	1.5-1.6	7.0-8.0	587-597	5.5-12.6
Jute	[10]	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
Lin	[10]	1.5	2.7-3.2	345-1035	27.6
Chanvre	[10]	--	1.6	690	--
Ramie	[10]	--	3.6-3.8	400-938	61.4-128
Sisal	[10]	--	2.6	278	--
	[16]	0.75-1.07	2.08-4.08	577.50	10.94-26.70
	[17]	1.5	2.0-2.5	511-635	9.4-22.0
Noix de Coco	[10]	1.2	30.0	175	4.0-6.0
	[16]	0.67-1.00	13.7-41.0	174	2.5-4.5
	[17]	1.33	-	72	2.0
Palmier de Dattier	[11]	0.51-1.08	7.5-17.4	170-290	2.1-5.25

IV.3. 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 (I-1) 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 [18].

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 1.3: *Application des divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment* [11,19].

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 [19].

V. Morphologie de bois de palmier dattier BPD

Le bois est une ressource naturelle renouvelable produit par l'arbre au cours de sa croissance. Comme la plupart des matériaux naturels, le bois est un matériau hétérogène ; ses propriétés physico-chimiques, mécaniques et biologiques varient extrêmement d'une espèce à l'autre. Les différences de comportement existent également à l'intérieur d'une même espèce, d'un même peuplement et d'un même arbre [15, 20].

V.1. Bois de Palmier Dattier (Phoenixdactylifera)

Le palmier dattier a été dénommé Phoenixdactylifera par Linné en 1753. Phoenix dérivé de Phoinix, nom du dattier chez les grecs de l'antiquité qui le considéraient comme arbre des phéniciens. Dactylifera vient du latin dactylis, dérivant du grec dactylos, signifiant doigt (en raison de la forme du fruit), associé au mot latin fero, porté, en référence aux fruits. Le Phoenixdactylifera résiste aussi bien à la chaleur, à la sécheresse et au froid. Il se trouve généralement sur la bande aride afro-asiatique qui s'étend de l'Afrique du Nord au Moyen-Orient, plus précisément dans les Oasis du Sahara. Les phœnix sont des palmiers dioïques, il existe donc des palmiers mâles et des palmiers femelles. Ces dernières donnent une multitude de variétés de dattes. [21, 22]

L'Algérie possède plus de 800 variétés de palmiers dattiers dans ses Oasis. Parmi les variétés les plus connues nous mentionnons (en appellation locale), le Dokar (le palmier

mâle), la Deglette Nour, Elghers et la Deglabida. Le palmier dattier a une structure fibreuse, possédant plusieurs types de fibres [23]

- Fibres de bois par le broyage de son tronc.
- Fibres de feuille au niveau des pédoncules.
- Fibres de tige au niveau des tiges des pédoncules et du support dattier.
- Fibres de surface autour de son tronc.

V. 2. Composants du bois de palmier dattier

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 [22].

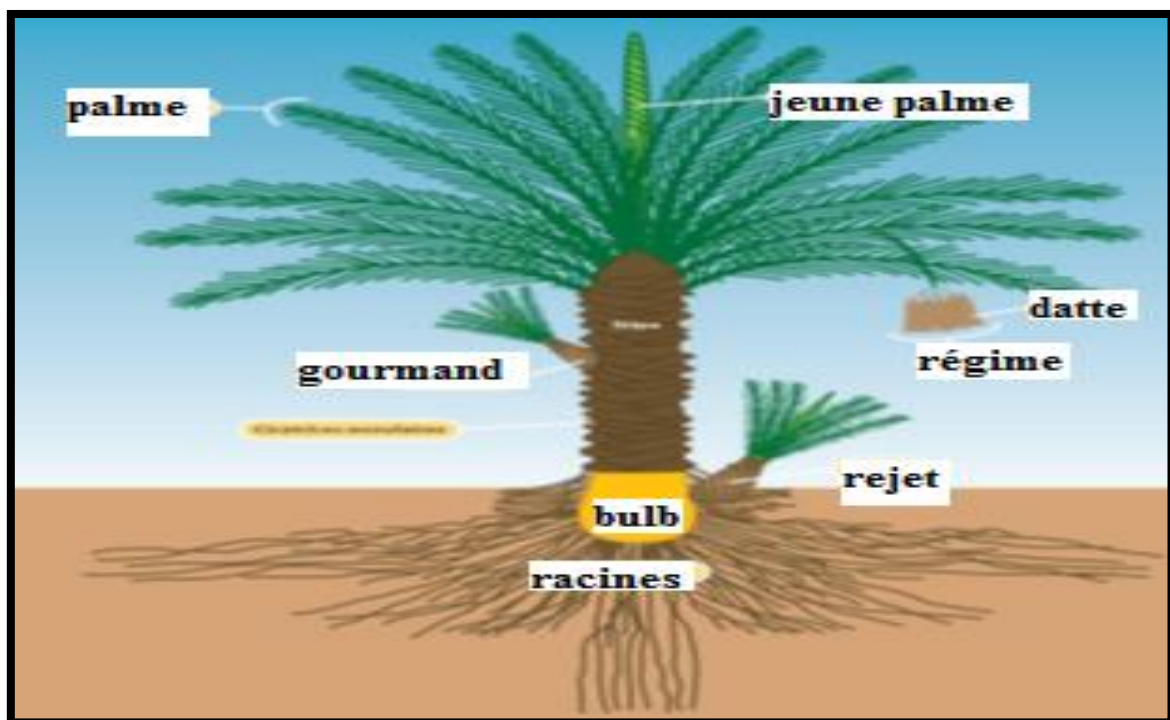


Figure I.6 : structure d'arbre de palmier

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 phallope.

- **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 « phallophores », pour cela, on distingue la couronne basale, la couronne centrale et les palmes du cœur [22].

- **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 [22].

- **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 [22].

- **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 [22].

La figure I.7 illustre les différents constituants d'une palme. L'épine, pétiole, foliole et le rachis.

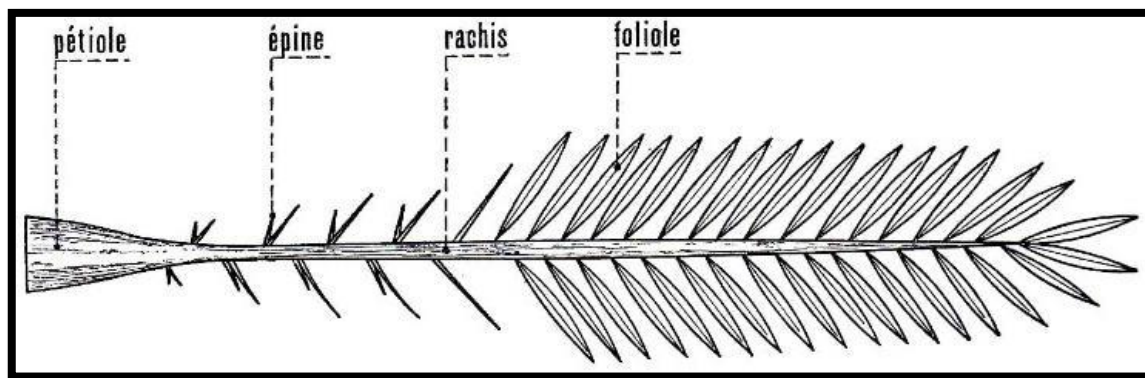


Figure I. 7. Schéma d'une palme [22].

V.3. Composition chimique :

Le tableau I.4 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.4. Composition Chimique du bois du palmier dattier (Pétioles et grappes).

Eléments Masse(%)	[21]		[23]		[24]		Tronc	Rachis*
	DN	G	MD	EG	P	G		
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

*cendrerachis.

Avec: DegletNoor(DN), MechDegla(MD), Elghers(EG), pétiole(P), la grappe(G).

VI. Matrice :

Le gypse est le liant artificiel le plus ancien. Il était utilisé en Égypte, plus de 4500 ans, pour les pyramides. Les Grecs et les Romains l'ont peu utilisé dans leurs constructions

monumentales. Les Arabes l'ont utilisé beaucoup en décoration. Le gypse est du sulfate de calcium avec ou sans molécules d'eau, généralement de couleur blanche (cependant, à cause des impuretés, il peut être un peu plus foncé) compact et tenace. Bien qu'il ait une masse volumique de 2600 kg/m^3 il est très mou et on peut le marquer avec l'ongle. Il est aussi un peu soluble dans l'eau [26].

D'après des études géologiques, l'Algérie dispose d'abondantes ressources en gypse naturel dont la teneur dépasse les 75% requis pour la construction. Les grands gisements existent à Dahra (région du Chellif), Djebel Chegga, Mostaganem, Arzew, Sidi Bel Abbès, Habouch (montagnes mina) et les Babors. Les informations existantes sont très faibles mais le gypse est un minerai très commun dans la région méditerranéenne [27].

D'autre part, vue sa bonne propriété d'isolation thermique, le plâtre peut être considéré comme un matériau très adéquat à la construction dans ces régions chaudes du pays qui présentent une faible hygrométrie de l'air, une pluviométrie courte et irrégulière et une sismicité pratiquement nulle. Il est donc plus qu'intéressant d'envisager l'introduction du plâtre et mortier de plâtre comme substituant au béton abusivement utilisé au sud [27].

VI.1. Plâtre

Le plâtre est issu du gypse, une roche très abondante de formes cristallines variées. Le gypse a pour formule $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$. On utilise donc le terme de sulfate de calcium dihydraté, ou plus simplement dihydrate. Il peut provenir de gisements exploités sous forme de carrières, ou bien récupéré sous forme de sous-produit (phospogypse).

Le terme plâtre regroupe donc improprement le matériau de construction (il s'agit alors de gypse), mais aussi la poudre qui permet son élaboration. Elle est obtenue par déshydratation du gypse, ou cuisson. On obtient alors le sulfate de calcium semi hydraté, ou semihydrate : $\text{CaSO}_4, 1/2\text{H}_2\text{O}$. Cette étape conditionne les propriétés finales de réactivité, si la cuisson est insuffisante, il reste des incuits. Si la cuisson est mal contrôlée, il se forme des surcuits (anhydrites) [27].

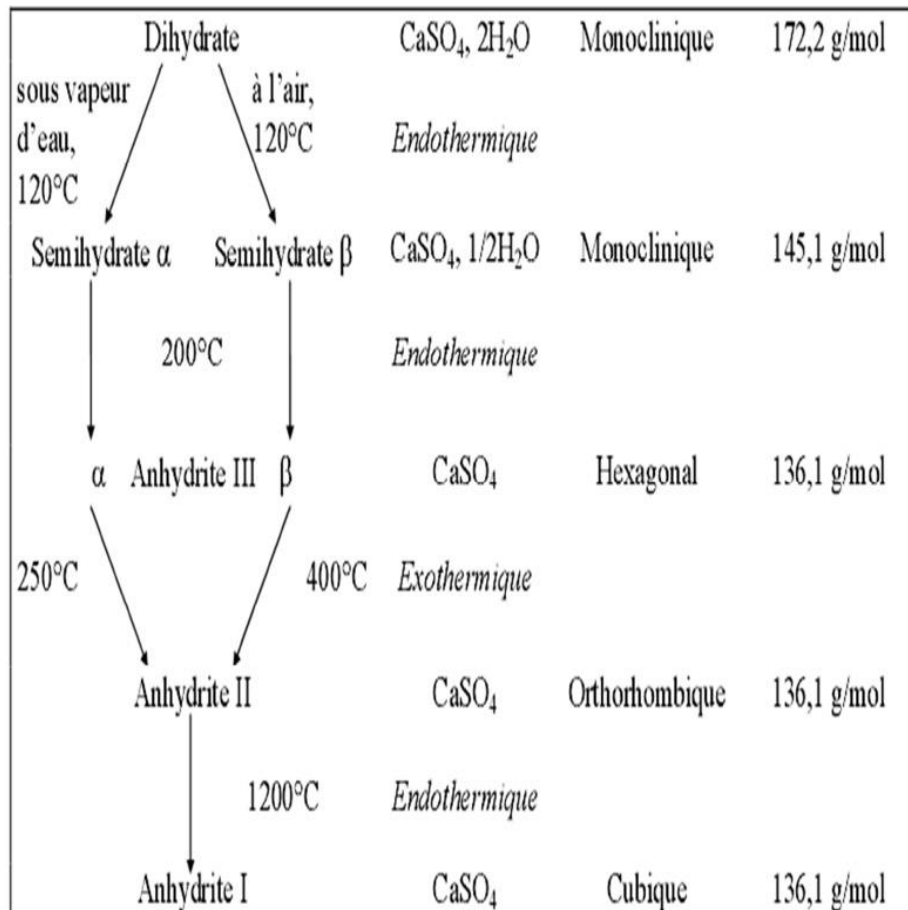


Figure I.8 : La famille des hydrates de sulfate de calcium [27].

Le gâchage du plâtre consiste donc à rendre au semi-hydrate les 1.5 moles d'eau que la stœchiométrie impose pour l'obtention du gypse. Cette étape est également appelée prise et donne lieu au durcissement d'une patte blanche, au fur et à mesure de l'hydratation du plâtre.

VI.2. Le gypse

Le gypse est le matériau de base de la fabrication industrielle des plâtres. Il existe deux grandes catégories de gypses [28].

A- Les gypses naturels :

Le gypse qui se trouve dans la nature est sous forme d'une roche compacte, avec une porosité totale de l'ordre de 10 à 15%. C'est une roche sédimentaire provenant de l'évaporation intense, en milieu lagunaire, d'une eau riche en sulfate de calcium dissout. Formé à l'ère tertiaire (il y a 65 millions d'années), il est extrait dans des carrières à ciel ouvert

ou souterraines. Les gypses naturels de grande pureté permettent d'obtenir des plâtres de qualité. Les principales impuretés des gypses sont la calcite, la silice et la dolomie [19].

B - Les gypses de synthèse :

Diverses industries (chimiques, centrales thermiques, traitement des fumées...) produisent du gypse comme sous-produit. Ce gypse (désulfogypse, phosphogypse...), qui concentre les impuretés du minerai de base, pose souvent des problèmes de stockage et de préservation de l'environnement. Après purification, une utilisation comme matière première pour fabriquer du plâtre peut être envisagée, en particulier dans certains pays dépourvus de gypse naturel (Belgique, Pays Bas, Japon...). La structure du gypse est complexe. La représentation de Jong et Bouman consiste en une maille monoclinique ($a \neq b \neq c$; $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$) qui compte quatre entités $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. On peut également représenter le cristal par un empilement de feuillets d'ions Ca^{+2} et d'ions SO_4^{2-} séparés par des doubles couches d'eau. Le faciès des cristaux de gypse est le plus souvent aciculaire. Toutefois, leur morphologie peut être modifiée par différents paramètres soit inhérents au cristal (structure, type de Liaisons, ...), soit externes (sursaturation, pH, température, ...). Les faces les plus étendues correspondant aux vitesses d'avancement les plus faibles, l'adsorption de composés étrangers agissant sur les vitesses de croissance peut grandement modifier le faciès des cristallites [19].

VI.3. Les produits de déshydratation du gypse

Le broyage et la cuisson (110-140 °C) de gypse naturel conduit à la formation de la poudre d'hémihydrate (appelée aussi semihydrate) de formule brute ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$). Ce matériau possède une structure cristalline très proche de celle du gypse, formé d'empilements de feuillets de $(\text{Ca}+2\text{SO})$ et de molécules d'eau [30]. Selon les conditions de la pression et de la vapeur d'eau imposées, deux phases hémihydratées peuvent être obtenues.

- a- Le procédé par voie humide** s'effectue sous pression saturante de vapeur d'eau, dans des autoclaves, sous 2 à 7 bars, pendant quelques heures. Dans ce cas, la formation d'hémihydrate est régie par un mécanisme de dissolution/recristallisation en milieu liquide. Une phase très bien cristallisée, non poreuse, constituée de cristaux bien distingués et facilement indexables est obtenue (Figure II.2) C'est l'hémihydrate α . Il nécessite un taux de gâchage faible ($e/p \sim 0.4$) et donne lieu à des plâtres dits « durs », ayant de très bonnes résistances mécaniques (jusqu'à ~ 35 MPa). Ils sont souvent utilisés pour la formulation de plâtres spéciaux (ex. moulages dentaires, fabrication des céramiques,...) [28].

b- Le procédé par voie sèche, le plus utilisé, car moins coûteux est réalisé à la pression atmosphérique. L'eau du gypse s'élimine à l'état de vapeur sèche et nous obtenons un solide microporeux constitué d'un assemblage de microcristaux c'est l'hémihydrate β . Il nécessite un taux de gâchage (e/p) important, en général $e/p \geq 0.6$. Il s'agit du composé principal des plâtres courants, de faible résistance mécanique et utilisés en tant que matériaux de construction [28].

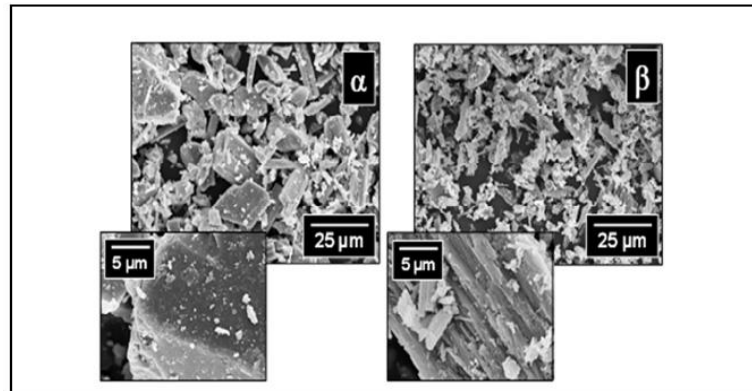


Figure I.9 . Images MEB des plâtres Prestai (usine Mariel du groupe Lafarge) obtenues respectivement par voie humide (α) et voie sèche (β) [28].

Lorsque la température de cuisson est supérieure à 150°C , la déshydratation plus poussée du gypse provoque la formation d'anhydrite III, de formule brute $(\text{CaSO}_4, \varepsilon\text{H}_2\text{O})$, avec $0.06 \leq \varepsilon \leq 0.11$. Cette variété est difficile à obtenir à l'état pur. Cette phase s'hydrate très facilement en gypse et peut jouer le rôle de catalyseur de l'hydratation de l'hémihydrate. A des températures plus élevées, d'autres phases peuvent apparaître comme l'anhydrite II et I, très difficilement réhydratables. Ces différentes phases du système $\text{CaSO}_4\text{-H}_2\text{O}$ ne possèdent pas la même faculté de dissolution en fonction de la température. Dans le cas du gypse, ils'agit d'une véritable solubilité qui peut être obtenue soit par dissolution, soit par cristallisation

VI.4. Le taux de gâchage

Le taux de gâchage (e/p), est une grandeur importante dont dépendent en particulier la densité et la porosité du matériau final. Rappelons que la quantité d'eau stœchiométrique nécessaire pour hydrater l'hémi hydrate en gypse est de 0.186g d'eau pour 1g d'hémihydrate (rapport des masses molaires correspondant à l'eau et à l'hémi hydrate), ce qui correspond à un rapport massique eau/plâtre (e/p) de 0.186.

Le gâchage du plâtre se fait avec des rapports e/p largement supérieurs au rapport stœchiométrique afin d'obtenir une pâte fluide, homogène et facile à manier. L'eau en excès par rapport à la stœchiométrie provoque la formation de pores en s'évaporant. C'est pour cette raison que la quantité d'eau de gâchage initiale fixe la porosité finale du matériau [28].

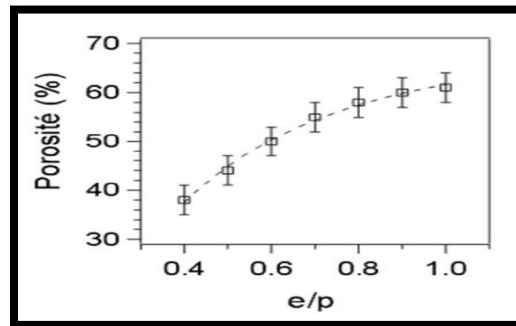


Figure I.10 : Evolution de la porosité du plâtre pris en fonction du taux de gâchage initial (e/p), mesurée par prosimètre au Mercure (Prosimètre Micromeritics Autopore III)[28].

Les résultats expérimentaux rapportés par les auteurs de [29] ont montré l'influence du taux de gâchage sur la conductivité thermique du plâtre pris ainsi que sur ses résistances à la compression et à la flexion. Les courbes obtenues ont permis de déduire que la conductivité aussi bien que les résistances mécaniques, varient en sens inverse de la quantité d'eau utilisée lors du gâchage.

VI.5. Origine des propriétés mécaniques du plâtre pris

Le plâtre pris est un matériau poreux, constitué principalement de cristaux de gypse enchevêtrés. Il doit sa bonne cohésion à cet enchevêtrement et aux interactions sinter cristallines. Sa microstructure finale dépend de la porosité totale, de l'organisation de son réseau poreux (distribution de tailles de pores), de la texture cristalline (enchevêtrement, taille et faciès des cristaux) et des forces d'adhésion mises en jeu [28].

VII. Composites Naturels :

Les matériaux composites sont généralement des matériaux solides constitués à l'échelle microscopique par l'association de deux ou plusieurs matériaux aux caractéristiques complémentaires. Cette association leur confère à l'échelle macroscopique un ensemble de propriétés physiques, que chacun des constituants pris isolément ne possède pas. Ces propriétés sont liées aux propriétés des matériaux qui les constituent, à leur distribution géométrique et à leurs interactions mutuelles [30].

Les matériaux composites peuvent associer des caractéristiques différentes, légèreté et résistance mécanique ou fragilité et ténacité. Un des constituants peut remplir la fonction de matrice tandis que l'autre, immergé dans le premier, joue un rôle de renfort. Dans ce type de composite, la matrice est continue et enrobe une phase discontinue, le renfort, qui se présente sous forme de particules ou de fibres plus ou moins longues [31].

VII.1. 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 [32].

Nous nous intéressons plus précisément dans ce qui suit aux matrices minérales, comme le ciment ou le plâtre. 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. [19]

Un matériau est dit biodégradable s'il est totalement décomposé par des micro-organismes (des bactéries par exemple) [32]. 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 [19].

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. [23]

VII.2 Etat de l'art sur les composites naturels :

VII.2.1. 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 [33-34], ou les thermodurcissables tel que le polyester [33,10]. 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 [36]. 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 cout, 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 [10,7] 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 [10,15]. 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 [10].

VII.2.2 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 Chagas 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. [15] Le liège a été aussi utilisé comme un renfort dans les matrices cimentaires agissant comme isolant dans les constructions, [3,36]. Ghose et al [37] 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 [37], ce comportement est dû à la faible compatibilité entre les fibres de sisal et le ciment.

VIII. Composites bois-gypse

Le panneau en gypse et particules ou fibres de bois est un produit de création récent, fabriqué par un procédé économique où le gypse joue le rôle de liant des particules ou fibres. Les panneaux bois-gypse sont fabriqués par différents procédés, les principaux sont le procédé humide et le procédé demi-sec. La plupart de la production de panneaux bois-gypse est faite avec le procédé humide, cependant les vieilles technologies du procédé humide sont petit à petit remplacées par la technologie du procédé demi-sec de plus petite consommation d'eau et de coûts d'opération moindres [26].

VIII.1. Méthodes de mise en œuvre de composites bois-gypse

- **Le procédé semi sec**

En contraste avec le procédé humide, le procédé semi-sec utilise une quantité d'eau relativement faible. Par conséquent, le procédé semi-sec a besoin de moins de temps pour le séchage dû à une réduction de la quantité d'eau.

Les propriétés du panneau gypse-particules produit par le procédé semi-sec sont similaires ou meilleures que les propriétés des placoplâtres, ou gypse-fibres. Par ailleurs, la dilatation linéaire de ces produits gypse-particules est plus petite que celle des panneaux de résines synthétiques.

Dans le procédé conventionnel de fabrication de placoplâtres, la pâte de gypse est utilisée à l'état liquide avec de grandes quantités d'eau. Le rapport eau/gypse est compris entre 0.7 et 0.9 (masse/masse), bien qu'un rapport eau/gypse de 0.15 à 0.19 (masse/masse) soit suffisant pour obtenir une réaction complète de l'hydratation du gypse. L'excès d'eau doit s'éliminer mécaniquement ou lors du séchage.

La fabrication de panneaux gypse-particules par le procédé semi-sec est similaire au procédé de fabrication des panneaux agglomérés avec résines synthétiques. Dans ce procédé, les particules fournissent la quantité d'eau suffisante pour l'hydratation du gypse. La teneur en humidité des particules est de 50 à 70%. Le séchage des particules est fait avec un simple tube séchoir. Dans le procédé semi-sec, la quantité d'eau est de 30% du poids total de l'ébauche, ce qui signifie 30% moins d'eau en comparaison avec le procédé humide. On économise en coûts de production car le séchage des particules n'est pas nécessaire. On peut utiliser différents types de particules, différentes espèces du bois, de conifères de faible masse volumique jusqu'aux feuillus de haute masse volumique [26].

- **Le procédé humide**

Dans le procédé humide, le matériau inorganique sec est additionné aux fibres sèches. On mélange les matériaux, on ajoute l'eau, donnant une ébauche humide qui sera pressée à l'aide de rouleaux compresseurs continus. Initialement, la quantité d'eau dans l'ébauche pressée est de 70%. Dû à cette grande teneur en humidité, une grande quantité d'énergie est nécessaire lors du séchage. Cependant, après plusieurs recherches sur ce problème, le niveau d'humidité a été réduit progressivement jusqu'à 50%. Le procédé humide peut être aussi utilisé pour fabriquer des panneaux en gypse

et en particules où le gypse, les particules et les retardateurs sont mélangés pour la formation de l'ébauche, qu'est pressée pendant 60 minutes par des rouleaux compresseurs [26].

IX. Eco-matériaux :

L'éco-matériau doit permettre de répondre aux critères de l'éco-conception, c'est-à-dire :

- limiter les impacts environnementaux durant tout son cycle de vie,
- procurer des conditions de confort aux occupants du bâtiment pendant son exploitation,
- ne pas présenter de danger pour la santé tant pendant la phase de mise en œuvre que d'utilisation du bâtiment.

Les propriétés du matériau, caractéristiques de ces différents critères, sont détaillées dans le Tableau I.5 [38].

Tableau I.5 : propriétés caractéristiques d'un éco-matériau [38]

Propriétés caractéristiques d'un éco-matériau
<ul style="list-style-type: none"> - Emission de gaz à effet de serre - Energie grise - Consommation de matières premières non renouvelables - Génération, en fin de vie, de déchets à la gestion complexe
Conditions de confort
<ul style="list-style-type: none"> - Thermique : conductivité, inertie, effusivité - Hygroscopique : perméabilité à la vapeur, diffusivité en phases vapeur et liquide, isothermes d'adsorption/désorption - Acoustique : coefficient d'absorption acoustique, indice d'affaiblissement acoustique
Impacts sanitaires
<ul style="list-style-type: none"> - Emissions de polluants chimiques (COV's, formaldéhydes etc.) - Emissions de polluants microbiologiques (prolifération bactérienne, acariens etc.) - Emissions de polluants particuliers (poussières, microfibres etc.)

Conclusion :

L'utilisation des fibres de palmier dattier dans les composites est de plus en plus utilisée, de ce fait, de récentes recherches sont en cours dans le but d'améliorer les propriétés des matériaux renforcés par des fibres de palmier dattier, 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.

L'avenir en termes de renforcement sera attribué aux fibres naturelles, ainsi, il est temps d'orienter les axes de recherches vers la valorisation des fibres naturelles

Notre étude consiste de ressortir les caractéristiques thermique et acoustique des composites a base des gypses et fibre de bois de palmier dattier traitée chimiquement.

Référence :

[1]**J.L. Billoët.** « Introduction aux matériaux composites à hautes performances », Edition Broché, 1993.

[2] cour matériaux composite école militaire polytechnique (Algie)

[3]**François BERBAIN** Licencié de chimie et **Alain CHEVALIER** Ingénieur de l'École nationale d'hydrographie Ingénieur à Vetrotex Saint-Gobainmis à jour par **Claude CHOUDIN** Responsable assistance technique Vetrotex Renforcement SA

[4]**Christophe PARIS.** « Étude et modélisation de la polymérisation dynamique de composites à matrice therm durcissable », thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse, 2011, p4-6.

[5]**Mme Makhlouf.** « 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.

[6]**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.

[7]**NILSON, L.,** Reinforced concrete with sisal and other vegetable fibers, Swedish council for building research, document d 14, 1975.

[8] **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.

[9]**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.

[10] **BLEDZKI, A. K and GASSAN. J,** Composites reinforced with cellulose based fibers ELSEVIER, Progress in polymer science, volume 24, pp.221-274, 1999.

[11]**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.

[12]**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.

[13]**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.

[14] **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.

[15] **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.

[16] **SWAMY, R.N**, Properties of high-strength concrete, Cement concrete and aggregates vol.8, N°1, pp.33-41, 1986.

[17] **KHENFER, M. M.** Caractérisation structurale et rhéologique des ciments et des plâtres renforcés de fibres cellulosiques. Thèse de docteur, université de Bordeaux, Juin 1990.

[18] **LACROIX, R., FUENTES, A. et THONIER, H.** Traité de béton armé Édition EYROLLES Paris, 1982

[19] **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.

[20] **M. Mohan, A. Rao**, "Extraction and tensile properties of natural fibers: Vakka, date and bamboo," Composite Structures, vol. 77, pp. 288-295, 2007.

[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] **G. Peyron**, "Cultiver le palmier dattier," G.R.I.D.A.O, Montpellier, pp. 109-129, 2000.

[23] **S. Cunha**, "Durability analysis of bamboo as concrete reinforcement," Materials and Structures, vol. 41, pp. 981-989, 2008.

[24] **K. Riahi, A.B. Mammou, A.B. Ammar, M.H. Jaafoura**, "Biosorption characteristics Of phosphates from aqueous solution onto Phoenix dactylifera L. date palm fibers," Journal of Hazardous Materials, vol. 170(2-3), pp 511-519, 2009.

[25] **R. Khiari, M.N. Belgacem, E. Mauret**, "Chemical composition and pulping of date palm rachis and Posidonioceanica - a comparison with other wood and non-wood fiber sources," Bioresource Technology, vol. 2, pp. 775-780, 2010.

[26] **R. E. Herrera**, "Panneaux en gypse et particules de bois renforcés avec du ciment Portland," sciences du bois, Thèse de Doctorat. Centre de recherche sur le bois, Université Laval, 2009.

[27] Ministère d'Énergie et des Mines, plâtre en Algérie, 2008.
<http://www.mem-algeria.org>.

[28] **H. JAFFEL**, "Caractérisation multi-échelles de matériaux poreux en évolution : cas du Plâtre," Physique des matériaux, thèse de Doctorat. Ecole Polytechnique, Université Paris-Saclay, 2006.

[29] **C. Bezou**, "Etudes des caractéristiques cristallographiques, thermodynamiques et Microstructurales des produits de déshydratation du gypse", thèse de doctorat. University de Bourgogne, 1991.

[30] **A. Boudenne**, "Etude expérimentale et théorique des propriétés thermophysiques de matériaux composites à matrice polymère", Thermique et Systèmes Energétiques, thèse de doctorat. Université Paris XII Val de Marne, 2003.

[31] **D. SEDAN**, "Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite," Matériaux Céramiques et Traitements de Surface, thèse de doctorat. Université de Limoges, 2007.

[32] **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

[33] **Y. Li, L. Ye**, "sisal fiber and its composites: a review of recent developments," Composites Science and Technology, vol. 60, pp. 2037-2055, 2000.

[34] **R. Satyana, R S. Mukherjee, C. Pavithran & S. G. K. Piuai**, "Natural Fibre-Polymer Composites," Cement & Concrete Composites, vol. 12, pp. 117-136, 1990.

[35] **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.

[36] **N. Sotehi**, "Caractéristiques Thermiques des Parois des Bâtiments et Amélioration de l'isolation", thèse de Doctorat. Université Mentouri-Constantine, 2010

[37] **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.

[38] **GOSSA Nabil** «Elaboration et caractérisation expérimentale du comportement mécanique du béton à base de fibres de palmier dattier» Université KasdiMerbah, 2013 p21-22.



Chapitre II

Matériaux et méthodes de mesure

I. Introduction :

Dans ce chapitre nous nous intéresserons à l'élaboration et le contrôle des échantillons composites réalisés à base de gypse avec de fibres naturelles (fibres de bois de palmier dattier). Les fibres naturelles utilisées ont été traitées chimiquement avec du NaOH%.

La méthode de mise en œuvre de ces composites en fonction de la taille des charges et de leurs concentrations est présentée. Les différentes méthodes d'essais pour étudier l'influence de l'eau, mesurer les propriétés thermiques et mécaniques des matériaux composites sont décrites dans ce chapitre.

II. Matériaux :

II.1. Bois du palmier dattier (BPD) :

Le matériau naturel utilisé dans cette étude comme renfort est le bois de palmier dattier (FBPD), récolté des oasis de La Ghrous (Biskra, Algérie). Les parties des BPD utilisées dans ce travail sont le pétiole, la grappe et le rachis, présentées dans la figure II.1 [1].



Figure II.1 : Différentes parties du bois de palmier dattier [1].

II.1.1. Broyage mécanique :

Le bois utilisé a été séché dans des conditions naturelles, puis passé à l'étape du broyage, afin de produire des petites dimensions de fibres. Le broyage consiste à réduire les morceaux de matériaux solides d'une taille donnée à une taille plus petite. Le principe est la fragmentation des morceaux par l'action mécanique de pièces plus résistantes, généralement métalliques. Les équipements à utiliser dépendent des dimensions souhaitées.

Afin d'obtenir des petites dimensions, le bois de palmier dattier utilisé dans ce travail a été soumis à deux niveaux de broyage, le concassage et le broyage grossier. Le concassage il permet d'obtenir des particules de taille inférieure au centimètre, et est souvent utilisé en pré-broyage. Il se subdivise en concassage primaire, secondaire, tertiaire et quaternaire. Ce dernier est assimilable au broyage grossier. Le broyage grossier il permet d'obtenir des particules de l'ordre du millimètre.

II.1.2. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique 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 leur diamètre à l'aide de la série de tamis suivants (en mm) : 2.5, 3.15, 4,5, 6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5. 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.

Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue. La figure II.2 présente le tamiseur utilisé dans cette étude [1].



Figure II.2: Appareil de tamisage du bois de palmier dattier.[1]



Fibre grosse

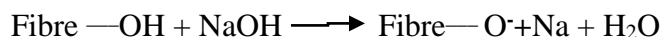
Fibre grosse traitée

Fibre fine

Figure II.3 : Fibres de palmier dattier utilisés.

II.1.3. Activation des fibres : prétraitement par les alcalins

La majorité des traitements connus (acétylation, benzylation...) sont précédés par un prétraitement dans une solution alcaline. Les fibres sont traitées avec une solution de NaOH (10%) durant une heure. Elles sont ensuite lavées avec de l'eau pour éliminer l'excès de NaOH. Le dernier lavage se fait avec de l'eau distillée contenant un peu d'acide acétique, les fibres sont séchées à l'air. Ce traitement améliore les caractéristiques adhésives de la surface des fibres en éliminant les impuretés naturelles et artificielles [1].



Traitement des fibres par une solution de soude

II.1.4. Traitement chimique de fibre de palmier dattier:

Après le broyage de nos fibre en choix les fibres grosse pour des traitements chimique à laboratoire de chimie industriel université Saâd Dahleb de Blida. On a préparé une solution NaOH de concentration 1% massique (1g NaOH dans 100 ml l'eau distillé) et une solution d'acide sulfurique H₂SO₄ de concentration 1% volumique.

On a traité les fibres chimiquement selon les étapes suivantes. [1]

- immerger les fibres dans une solution de NaOH 1%, pendant 12 heures.
- Rincer à l'eau du robinet.
- Immerger dans une solution acide sulfurique H₂SO₄ 1% pendant 5 minutes.
- Rincer à l'eau du robinet.
- Mettre dans une étuve pendant trois jours.
- Conserver dans des sacs en PE jusqu'aux tests.

II.2 Le gypse :

La matrice utilisée est du gypse de type Knauf commercialisé par la société Knauf Algérie. Sa composition chimique est présentée dans le Tableau II.1 ci-dessous. D'après l'analyse de la composition chimique, le gypse utilisé est constitué principalement de $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$. La quantité des éléments Ca et S est plus importante que celle des Si et Mg [1].

Le tableau II.1. Composition chimique du gypse.

Elements	Masse %
O	48,86
Mg	0,87
Al	0,80
Si	1,32
S	21,46
Ca	26,68
Total	100

III. Préparation des composites :

III.1. Choix du taux de gâchage :

Pour déterminer le taux de gâchage adéquat (e/p), il faut prendre en compte Les conditions suivantes:

$$R = \frac{e}{p} \dots\dots\dots \text{(Eq.1)}$$

- sachant que plus le rapport (e/p) est élevé, plus le plâtre durci obtenu présente des résistances faibles.
- (e/p) influence l'ouvrabilité de la pâte au cours de prise.
- La pâte de plâtre 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=0.6 produit une pate bonne à travailler, donc une ouvrabilité meilleure.

III.2. Calcul des masses de fibres et de matrice dans les composites

A partir de la loi des mélanges on a [26]:1

$$\rho_c = \rho_f + \rho_m \dots \dots \dots \text{(Eq.2)}$$

Avec

$$\varphi_f (\%) = \frac{m_f}{m_f + m_m} \dots \dots \dots \text{(Eq.3)}$$

On aboutira à :

$$m_f = m_m [\varphi_f / (1 - \varphi_f)] \dots \dots \dots \text{(Eq.4)}$$

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

Pour un taux de gâchage de e/p= 0.6, les masses de fibres calculés sont regroupés dans le tableau II.2.

Tableau II.2: Masses de fibres et de matrices correspondantes aux fractions massiques.

Composites	Gypse (fixe) (g)	Eau (g)	Fibres (%)	Fibres (g)
G/FBPD 1	1000	0.6 _{comp} %	0	0
G/FBPD 2	1000	600	1	16.16
G/FBPD 3	1000	600	3	49.48
G/FBPD 4	1000	600	5	84.21

G/FBPD : gypse et fibre de bois de palmier dattier (grosse, fin)

III.3. Mise en œuvre des échantillons:

La préparation des éprouvettes des composites à base de bois de palmier dattier et du gypse est effectuée selon une méthodologie universelle. Ces étapes sont effectuées de la façon suivante :

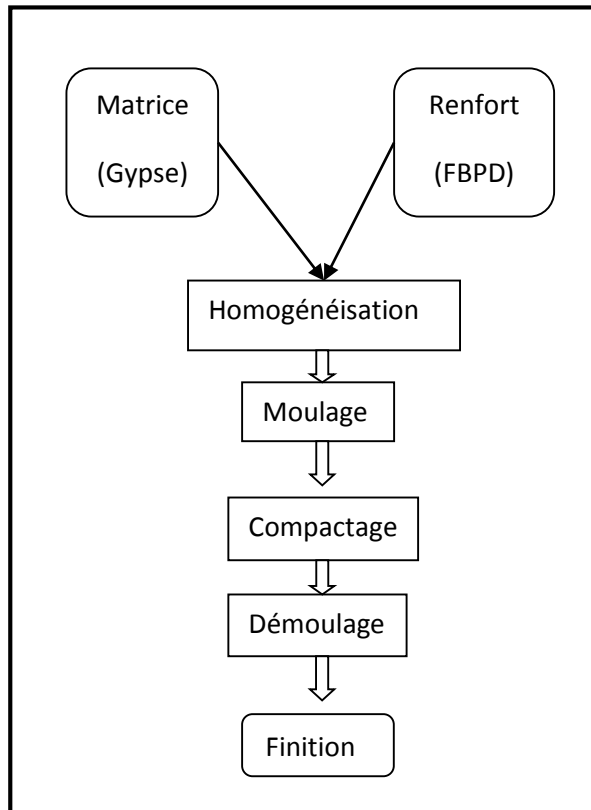


Figure II.4. la procédure de mise en œuvre des échantillons.

- 1- Malaxage à l'état sec des matières premières (gypse et fibres de BPD) pendant deux minutes à vitesse lente, pour bien homogénéiser ces matières.
- 2- Gâchage des matières mélangées, en conservant le malaxage à vitesse lente pendant 20 secondes.
- 3- Les moules sans grésé avec le huile pour facilite le démoulage.
- 4- Le moulage d'une première série dans les moules $(4 \times 4 \times 16)$ cm³, destinés pour les essais mécaniques. La deuxième série des échantillons est versés dans des moules de $(10 \times 10 \times 5)$ cm³, qui concerne les essais thermiques.

5- Les moules ont été exposés dans les conditions du laboratoire ($T = 25^{\circ}\text{C}$) et une humidité relative (HR) de (25 %) durant 48 heures.

6- Le démoulage a été effectué avec précaution pour éviter toute détérioration des échantillons.

7- on prend deux échantillons de chaque série ($4 \times 4 \times 16$), et on les sèche dans une étuve à 70°C de température pendant 3 jours. L'une pour les essais mécanique (flexion compression) et l'autre pour les essais d'ultrason et la teneur d'eau. Les restes à été sèche à l'air libre pendant 7 jours. Pour les essais mécaniques (flexion compression).



Figure II.5. Malaxeur automatique de type Perrier.



(a)



(b)

Figure II.6. (a) Moules pour essai mécanique ($40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$)

(b) Moules pour essai Thermiques ($100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$).



Figure II.7.(a) Eprouvettes pour essais mécaniques (40 mm × 40 mm × 160 mm)
Eprouvettes pour essais thermiques (100 mm × 100 mm × 50 mm)

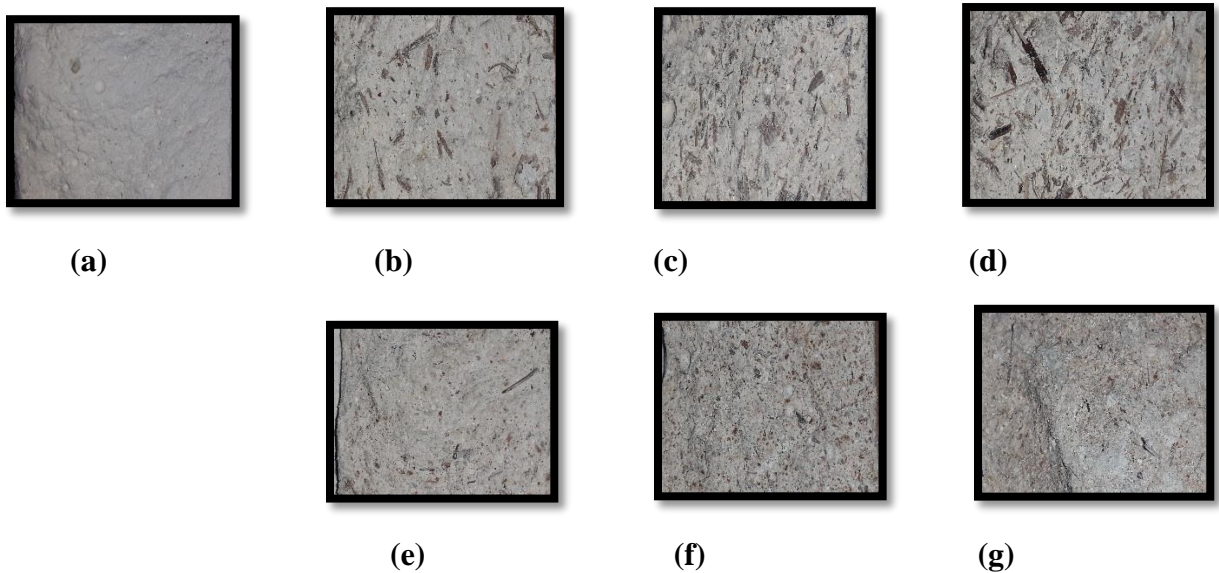


Figure II.8. Coupe transversale des composites fabriqués

Avec :

(a) : gypse pur étuvé

(b) : gypse avec 1% fibre de bois de palmier dattier grosse traitée étuvé

(c) : gypse avec 3% fibre de bois de palmier dattier grosse traitée étuvé

(d) : gypse avec 5% fibre de bois de palmier dattier grosse traitée étuvé

(e) : gypse avec 1% fibre de bois de palmier dattier fine étuvé

(f) : gypse avec 3% fibre de bois de palmier dattier fine étuvé

(g) : gypse avec 5% fibre de bois de palmier dattier fine étuvé

IV. Essais et mesures :

IV.1. Résistance à l'eau :

Les essais de la teneur en eau ont été réalisés suivant la norme ASTM D 570, 2002, qui analyse l'évolution de poids du matériau après immersion dans l'eau. Les échantillons de composites ont été séchés à 70°C pendant 7 jours pour obtenir un poids constant [2]. La capacité d'absorption d'eau des composites a été mesurée à 7 jours. Le gain de masse est calculé en utilisant la formule 5 [3]:

$$H(\%) = \frac{w_m - w_d}{w_d} \times 100 \dots \dots \dots \text{(Eq. 5)}$$

Avec, H (%) est la teneur en eau (humidité) (%), le poids humide w_m (g) au temps (t) et w_d le Poids sec (g).

IV.2. Essais mécaniques :

La résistance des matériaux est un outil indispensable à toute modélisation en calcul des structures. En général utilisées, un calcul rapide de RDM permet de vérifier les ordres de grandeur et de juger de l'opportunité d'utiliser d'autres méthodes plus complexes [4]. Les essais de résistance à la compression et à la flexion ont été effectués selon la norme NFEN 1015-11, 2000. Pour chaque concentration, deux échantillons ont été préparés à différents modes de séchage, la première série a été séchée pendant trois jours dans une étuve avec une température de 70°C et la deuxième série a subi une cure de sept jours de séchage à l'air libre.

IV.2.1. Essai de flexion

Généralement les propriétés mécaniques sont obtenues à partir des essais de traction ou de compression, mais pour les matériaux fragiles, un certain nombre de problème se posent surtout au niveau de la fixation de l'éprouvette et de son usinage. L'essai de compression assez utilise pour les matériaux fragile néanmoins un parallélisme rigoureux des faces de l'échantillon est nécessaire en plus de l'équipage qui doit des charge très élevé sans déformer en raison de ce qui a été cite plus haut l'essai de flexion semblent les mieux indique pour tester des matériaux fragile et l'essai utilise est de flexion 3 points.

Une machine de flexion (Modèle : MATEST) avec une vitesse 15N/s a été utilisée pour l'essai de résistance à la flexion (figure II.9. a). L'éprouvette repose sur deux appuis simples,

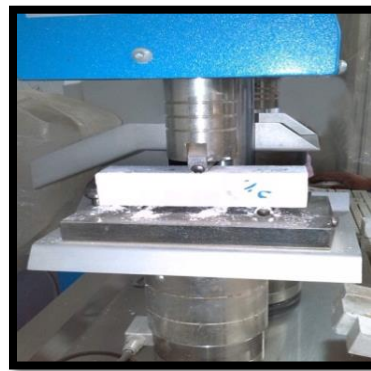
distants de L , et la charge F est appliquée au centre de l'échantillon (voir la figure II.9. b). La méthode de la flexion à trois points est utilisée et la résistance à la flexion est calculée à partir de l'équation suivante [4].

$$\sigma_r = \frac{3.Pr.L}{2.b.d^2} \dots \dots \dots \text{(Eq.6)}$$

Où Pr est la résistance à la flexion [MPa], 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'appui [mm].



(a)



(b)

Figure II.9 la machine de flexion.

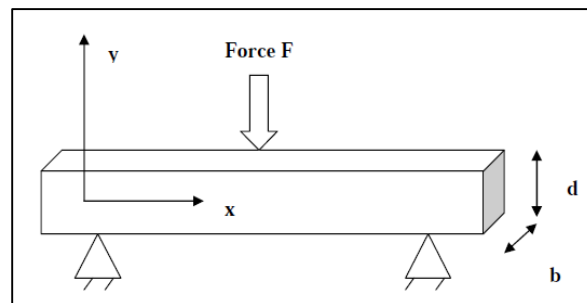


Figure II.10: Schéma du montage de flexion 3 points.

IV.2.2. Essai de compression :

Le but de cet essai est de déterminer la résistance mécanique à la rupture pour des échantillons soumis à des contraintes de compression.

La machine d'essai de compression de 250 KN de marque MATEST Modèle TREVILOLO E 182.

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

La résistance à la compression a été déterminée en appliquant une charge sur les demi-prismes

obtenus à 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 à partir de l'équation suivante :[4]

$$\sigma_c = \frac{F_c}{S} \dots \dots \dots \text{(Eq.7)}$$

Où σ_c est la résistance à la compression [MPa], F_c la charge maximale appliquée à la compression [N] et S la section [mm²].



Figure II.11. La machine de compression.

IV. 3. Caractérisation thermo-physique

La conductivité thermique des composites est mesurée suivant la norme NF ISO 8894-1 2nd Edition 15/05/2010 utilisant le CT-mètre. Le CT-mètre est un appareillage développé par le CSTB Grenoble (Hébert Sallée). La précision et la reproductibilité des résultats de cet appareil sont estimées à 5% et à 2 %, respectivement. Le domaine de la température de mesure est de -20 à +90 °C pour des matériaux possédant une conductivité thermique comprise entre 0.01 jusqu' à 10 (w.m-1.K-1). Trente échantillon sont été réalisé pour évaluer la conductivité thermique des composites. Les échantillons étudiés sont séchés dans une étuve à 70°C et pesés dans un intervalle de trois jours, jusqu'à atteindre une perte inférieure à 1% pendant 24 h. Afin d'assurer un bon contact thermique entre la sonde mesure de la conductivité thermique et le matériau réalisé, les faces des échantillons sont été rabotées [5].



Figure II.12: Appareil CT METRE

Le principe de fonctionnement de l'appareil CT METRE consiste à mesurer l'élévation de température subie par le capteur au cours d'une période de chauffage choisie. Le capteur de température associé à l'élément chauffant formant la sonde de mesure telle qu'illustré dans la figure II.12.

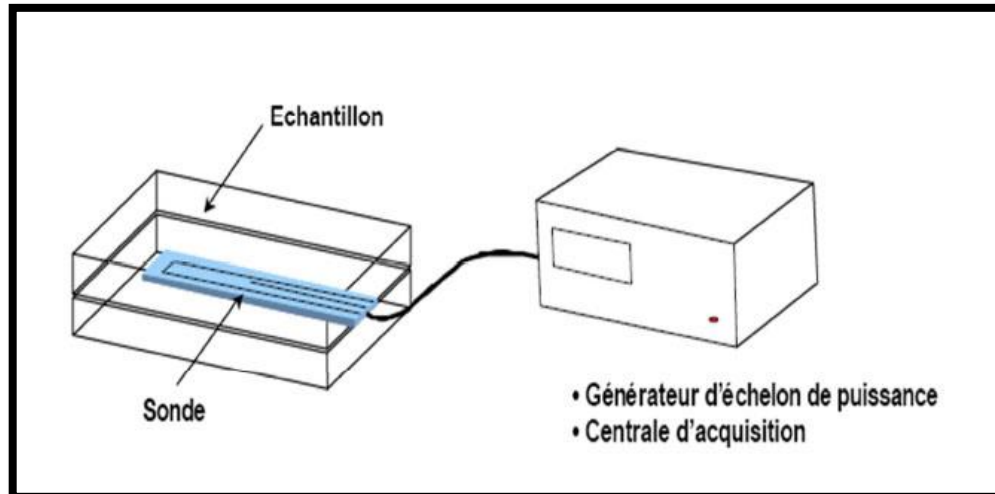


Figure II.13. Principe de la mesure de λ .

Le CT METRE se compose de deux organes:

- l'organe de commande, chargé de générer la puissance de chauffe et d'interpréter la courbe d'élévation de température transmise dans le matériau à tester,

• la sonde chargée de transmettre la puissance de chauffe et de mesurer l'évolution de température produite pendant ce temps. Pour nos essais, nous avons utilisé la sonde de type anneau (circuit imprimé souple d'épaisseur 0,2 mm, dimension 60 mm × 90 mm), le diamètre de l'élément chauffant = 15 mm Cette sonde est insérée entre 2 échantillons de dimensions identiques. Après programmation de l'appareil, un créneau en flux délivré sous forme d'effet Joule, qui se produit en une dissipation d'énergie (caractérisée par le suivi de la température en un point donné T(t)). A la fin du temps de chauffage, la conductivité thermique (λ), la chaleur spécifique (C_p) et la température initiale (T_0) sont affichées sur l'écran de l'appareil.

Avant chaque essai par le CT METRE, les éprouvettes sont pesées pour déterminer la masse volumique sèche de chaque matériau composite [5].

IV.3.1. Diffusivité thermique

La diffusion thermique est une propriété dynamique de matériaux car elle intervient dans les transferts en régime transitoire de température. Elle caractérise l'aptitude d'un matériau à transmettre la chaleur en terme de vitesse. Elle s'exprime en ($m^2.s^{-1}$). Ce paramètre est directement contenu dans l'équation de la chaleur simplifiée ou[5]

$$a = \frac{k}{\rho.C_p} \dots\dots\dots (Eq.8)$$

IV.4.Essai par ultrason :

Les informations sur la santé d'une pièce ou d'une structure sans qu'il en résulte des altérations préjudiciables à leur utilisation ultérieure. Le terme de santé, s'il souligne une certaine parenté avec le domaine des examens d'aide au diagnostic médical, comme la radiologie ou l'échographie, délimite bien l'objectif des contrôles non destructifs qui est la mise en évidence de toutes les défauts susceptibles d'altérer la disponibilité, la sécurité d'emploi et/ou, plus généralement, la conformité d'un produit à l'usage auquel il est destiné

En ce sens, le contrôle non destructif (CND) apparaît comme un élément majeur du contrôle de la qualité des produits. Il se différencie de l'instrumentation de laboratoire et industrielle puisque l'objet est de détecter des hétérogénéités et anomalies plutôt que de mesurer des paramètres physiques tels que le poids ou les cotes d'une pièce [6].

IV.4.1. Bases physiques du contrôle ultrasonore (Nature des ultrasons et Fréquences)

Les ultrasons sont des vibrations mécaniques prenant naissance et se propageant dans tout support matériel (solide, liquide ou gaz) présentant une certaine élasticité. En continuation de la gamme sonore, les ultrasons correspondent à des fréquences oscillatoires supérieures à la limite d'audibilité humaine et s'étendant dans une large gamme allant de 15 kilohertz (nettoyage) à plus de 100 MHz (microscopie acoustique, application électronique).

La gamme 1 à 10 MHz couvre la grande majorité des applications des ultrasons en contrôle non destructif industriel. Cela n'est pas un hasard car ces fréquences correspondent, pour les matériaux courants, à des longueurs d'onde ultrasonore de l'ordre du millimètre, valeur réalisant un bon compromis entre directivité, absorption, détectabilité des petits défauts, facilité de réalisation d'appareillages électroniques et de transducteurs fiables et économiques.[6]

IV.4.2. Différents types d'ondes (figure II.14)

Les ondes ultrasonores, vibrations élastiques de la matière, ont des propriétés liées aux caractéristiques élastiques du support matériel. Ainsi, dans les liquides et les gaz, qui sont des milieux n'offrant aucune résistance au cisaillement, les ondes ultrasonores sont essentiellement des vibrations longitudinales, les particules matérielles se déplaçant, par rapport à leur position d'équilibre, parallèlement à la direction de propagation de l'onde, engendrant des fronts de compression-décompression, eux-mêmes perpendiculaires à cette direction. Ce type d'onde se retrouve dans les solides et est d'ailleurs le plus utilisé en pratique.

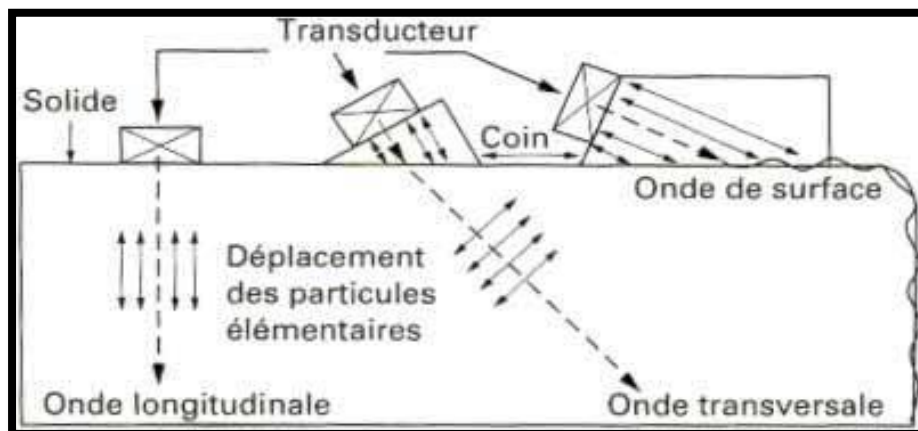


Figure.II.14. Types d'ondes et modes de propagation des ultrasons dans un solide [6]

Toutefois, un autre mode, utilisant le cisaillement, peut exister mode d'onde transversale pour lequel les vibrations des particules s'exercent perpendiculairement à la direction de propagation. Ces deux types d'ondes, les plus couramment rencontrés en contrôle non destructif.

IV.4.3. Phénomènes de propagation

Les lois physiques rappelées ici s'appliquent au cas simple d'une onde monochromatique, c'est-à-dire de fréquence unique. La réalité du contrôle ultrasonore est plus complexe, car les transducteurs génèrent des trains d'ondes correspondant à un spectre de fréquence d'une certaine forme et d'une étendue plus ou moins bien connues. C'est une remarque qu'il ne faut pas perdre de vue, lorsque l'on veut mettre en pratique ces bases physiques par ailleurs indispensables à la bonne compréhension des mécanismes mis en jeu dans tout contrôle ultrasonore [6].

IV.4.4. Production et détection des ultrasons

Il y a deux voies pour générer des ultrasons dans la pièce à contrôler :

- Soit utiliser un oscillateur mécanique (transducteur électroacoustique), générateur de vibrations ultrasonores qui seront transmises à la pièce par couplage acoustique ;
- Soit générer les ultrasons à la surface de la pièce elle-même par tout moyen susceptible d'activer les particules du milieu (forces électromagnétiques, impulsions thermiques, ablation laser). La mise en évidence de l'onde de retour peut se faire selon les mêmes voies.

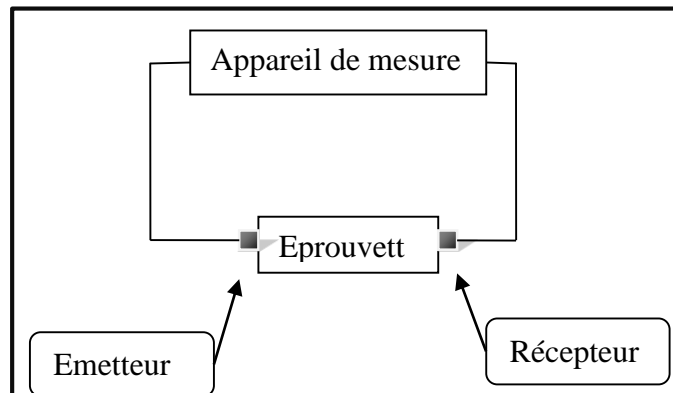


Figure II.15. Schéma d'appareillage de contrôle ultrasonore

- Détection des vibrations à la surface de la pièce (interférométrie laser) ;
- Couplage vers un transducteur spécifique (palpeur récepteur). Nous examinons ces diverses solutions, sachant cependant qu'en pratique, la solution du transducteur ultrasonore (souvent appelé palpeur) est de très loin la plus utilisée.

IV.4.5 Étalonnage

L'étalonnage de l'ensemble appareillage et palpeur ultrasonore présente une grande importance, dans la mesure où l'on cherche à fournir des résultats de contrôle pertinents. On pourra, dans un premier temps, déterminer les caractéristiques de l'électronique et du palpeur cela ne dispensera pas toutefois d'effectuer un tarage de l'ensemble, selon les procédures normalisées adaptées aux types de contrôles et d'industries concernés. Soit on utilisera un bloc étalon comme la cale AFNOR NF A 09.310 qui permet, en particulier, de vérifier aisément les caractéristiques des palpeurs d'angle, soit on fera appel à des pièces de référence du type de celles à contrôler et possédant des défauts connus, naturels ou artificiellement créés. Signalons qu'un large débat reste ouvert entre spécialistes quant aux mérites respectifs de ces deux catégories de défauts étalons.



Figure II.16. *Appareil de mesure d'ultrason*

Les lois physiques rappelées ici s'appliquent au cas simple d'une onde monochromatique, c'est à-dire de fréquence unique. La réalité du contrôle ultrasonore est plus complexe, car les transducteurs génèrent des trains d'ondes correspondant à un spectre de fréquence d'une certaine forme et d'une étendue plus ou moins bien connues. C'est une remarque qu'il ne faut pas perdre de vue, lorsque l'on veut mettre en pratique ces bases physiques par ailleurs indispensables à la bonne compréhension des mécanismes mis en jeu dans tout contrôle ultrasonore.

La vitesse conventionnelle de propagation est calculée par la formule.

$$v = \frac{l}{t} \dots\dots\dots (Eq.9)$$

Où L : est la distance entre les transducteurs en mètres, t est le temps de propagation en secondes. La vitesse conventionnelle est exprimée en mètres par seconde.

On obtient la fréquence à partir la relation suivant :

$$f = \frac{1}{t} \dots\dots\dots (Eq.10)$$

IV.4.6. Champ d'application et évolution du contrôle ultrasonore

- Détection des défauts interne
- Localisation des défauts en profondeur
- Dimensionnement des défauts

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la méthode de fabrication des composites à base de gypse et de renforts naturels (fibres de bois de palmier dattier), ainsi que les appareils de mesures des propriétés de ces composites. L'étude granulométrique des différentes fibres permet d'étudier l'influence de la taille sur les propriétés mécaniques, thermiques des composites. Les tests effectués sur les échantillons à sec à 7 jours ont pour but d'analyser l'effet de l'eau sur les propriétés mécaniques. La méthode utilisée pour la mesure de λ est une méthode fiable et simple.

Les résultats expérimentaux de la résistance à l'eau, les propriétés thermo-physiques et mécaniques effectués sur les composites à base de gypse et de fibres de bois de palmier dattier seront présentés et discutés dans le chapitre suivant

Référence :

[1] **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. University Hadj Lakhdar de Batna, 2013, p8-15.

[2] **J P. A. Serna, J. G. Palomo, M. Gonzalez**, "Improvement of gypsum plaster strain capacity by the addition of rubber particles from recycled tyres," *Construction and Building Materials*, vol. 35, pp. 633-641, 2012.

[3] **T. Ashour, H. Georg, W. Wu**, "Performance of straw bale wall: A case of study," *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 1960-1967, 2011

[4] **N. E. 1015-11**, "Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie - détermination de la Résistance à la flexion et à la compression du mortier durci," 2000.

[5] CT. Mètre, "Guide d'utilisation," FT 131099-A.

[6] **Jacques DUMONT-FILLON** Ingénieur de l'École Centrale de Paris Ancien Directeur Technique de l'Institut de Recherches de la Sidérurgie (IRSID)



Chapitre III

Résultat et discussion

I. Introduction :

Ce chapitre est consacré à l'étude expérimentale et à l'analyse des résultats obtenus des composites élaborés à base de gypse renforcé par des fibres fines et grosses (traitées chimiquement) de bois de palmier dattier. Dans cette partie, nous discutons l'influence de l'effet de la concentration et de la taille des fibres de bois de palmier dattier sur les propriétés mécaniques et thermo-physiques de ces bio-composites. Les résultats obtenus ont été présentés et comparés à ceux existants dans la littérature pour une application d'isolation thermique.

II. Effet de l'eau:

L'influence de l'eau sur les matériaux composites à base de gypse renforcés par des fibres naturelles, est un paramètre important dans la caractérisation de ce type de composites. Il est clair que les constituants de ces composites sont largement influencés par l'eau. L'étude de l'effet de l'eau sur les composites est divisée en deux parties, dans la première, on s'intéressera à l'effet d'absorption de l'eau par les composites à base de gypse utilisant des fibres de bois de palmier dattier de $(4 \times 4 \times 16)$ cm³ de dimension.

II.1. Résistance à l'eau

Le tableau III.1 illustre les valeurs expérimentales des essais de résistance à l'eau effectués sur les composites à base de gypse chargés avec des différentes fractions massiques en bois de palmier dattier.

Tableau III.1. Taux d'augmentation de masse des composites étuvés $G/ FBPD_{GE}$

$G/ FBPD_{GE}$ (%)	(2h)	(4h)	(24h)
0	45,06	51,87	63,82
1	41,03	48,14	63,29
3	50	51,78	53,57
5	32,75	34,48	44,82

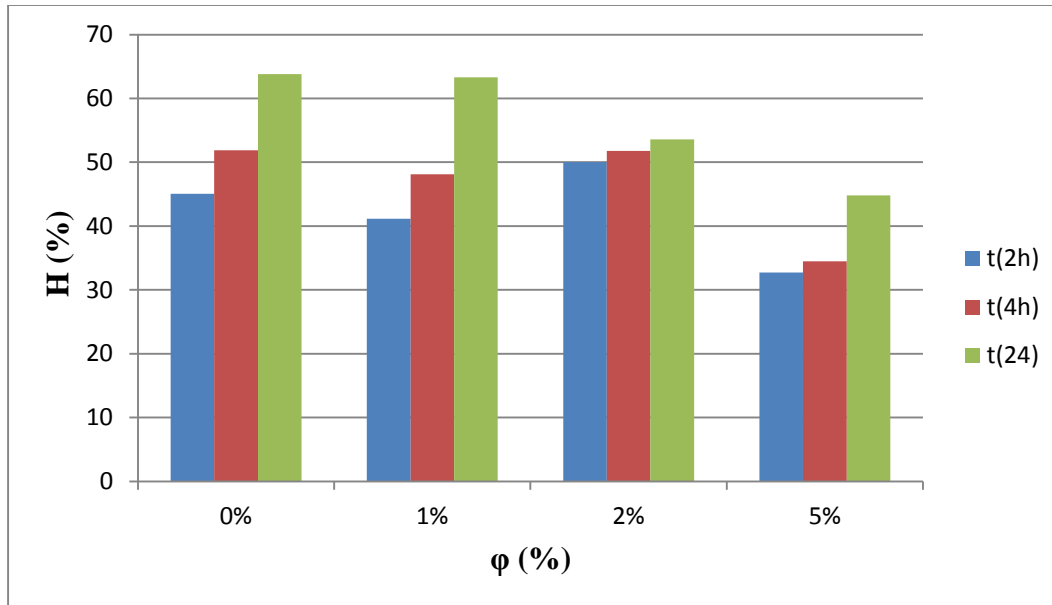


Figure III.1. Variation de l'absorption de l'eau par les composites G/FBPD_{GE} traitées

La figure III.1 illustre la variation de l'absorption de l'eau par les composites *G/ FBPD_{GE}* traitées pour une période qui s'étale de 2 à 24 heures. Cet essai s'est axé sur l'influence de l'eau sur la matrice gypse renforcée avec des fibres grosses. On remarque que l'augmentation de la teneur en fibres induit un temps en saturation plus élevé.

L'absorption de l'eau est très lente entre 2 et 4 heures ou l'équilibre a été atteint, car le temps de saturation des composites est directement lié au temps du remplissage des vides existant dans les fibres de bois de palmier dattier et de la matrice gypse. Ce comportement est aussi observé pour la plupart des composites renforcés par des fibres végétaux [1].

Par ailleurs on note que l'évolution de la teneur en eau dans ces composites, devient plus significative après une exposition en eau allant de 4 à 24 heures. Ce qui dénote du caractère hydrophile des fibres de FBPD et qui induit un pourcentage élevé de la teneur en eau dans les composites [1].

On note que l'absorption en eau des composites diminue avec l'augmentation de la concentration des fibres grosses traitées chimiquement. Ce qui implique que la surface des fibres est influencée par le traitement chimique appliqué. Ce résultat est noté par T. Ashour et al. [1] qui a induit que la surface des fibres est influencée par le traitement chimique.

Le tableau III.2 illustre les valeurs expérimentales des essais de résistance à l'eau effectués sur les composites à base de gypse renforcés avec des différentes fractions massiques en bois de palmier dattier fines étuvée.

Tableau III.2. Taux d'augmentation de masse des composites étuvés $G/FBPD_{GE}$ non traités immergés dans l'eau.

$G/FBPD_{FE}(\%)$	t(2h)	t (4h)	t (24h)
0	37,40	52,67	64,41
1	65,23	67,38	80,25
3	55,46	61,76	72,26
5	56	60	76

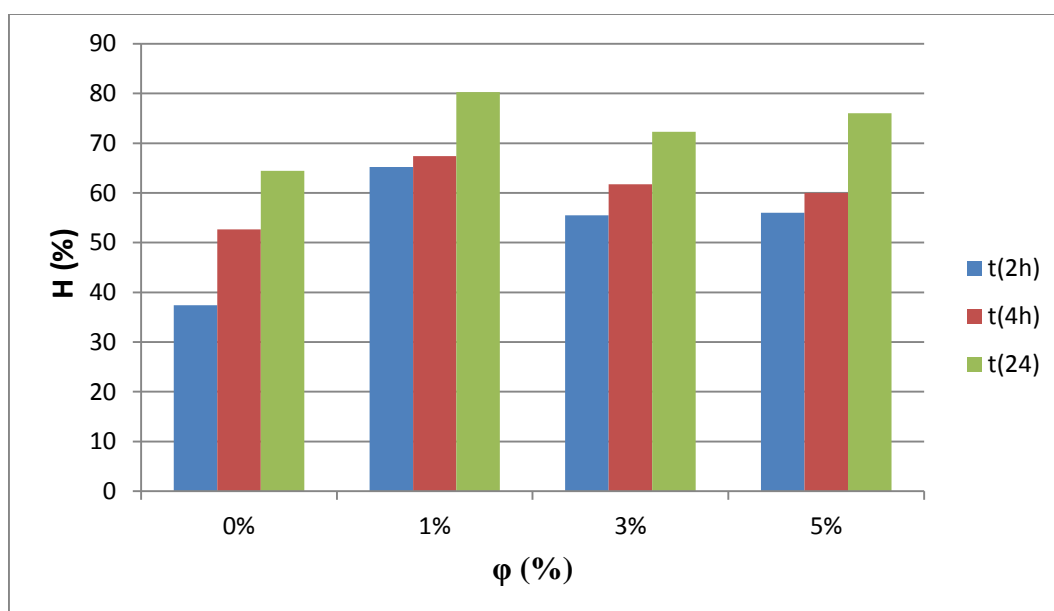


Figure III.2: Absorption de l'eau par les composites $G/FBPD_{FE}$

La figure III.2 présente le comportement des échantillons renforcés par les fibres de FBPD fines étuvées non traitées chimiquement. Il à noter que l'absorption d'eau se propage d'une façon proportionnelle en fonction de temps. On remarque que 1% d'ajout induit une absorption plus importante que celle enregistrée pour le gypse pure. Pour des concentrations supérieures à 1% de fibres, la teneur en eau des différents composites reste minime.

III. Résulta mécanique

III.1. Résistance à la flexion :

Le tableau III.3 montre les valeurs expérimentales d'essais de résistance à la flexion à trois points des composites à base de gypse renforcés avec des fibres de bois de palmiers dattiers.

Tableau III.3 Résistance à la flexion des composites.

G/FBPD (%)	σ_f (MPa)	σ_f (MPa)	σ_f (MPa)	σ_f (MPa)
	G/FBPD _{GE}	G/FBPD _{FE}	G/FBPD _{GH}	G/FBPD _{FH}
0	1,85	1,42	4,53	4,53
1	2,05	1,70	5,35	2,64
3	5,95	2,58	4,40	3,21
5	6,61	2,68	5,34	3,56

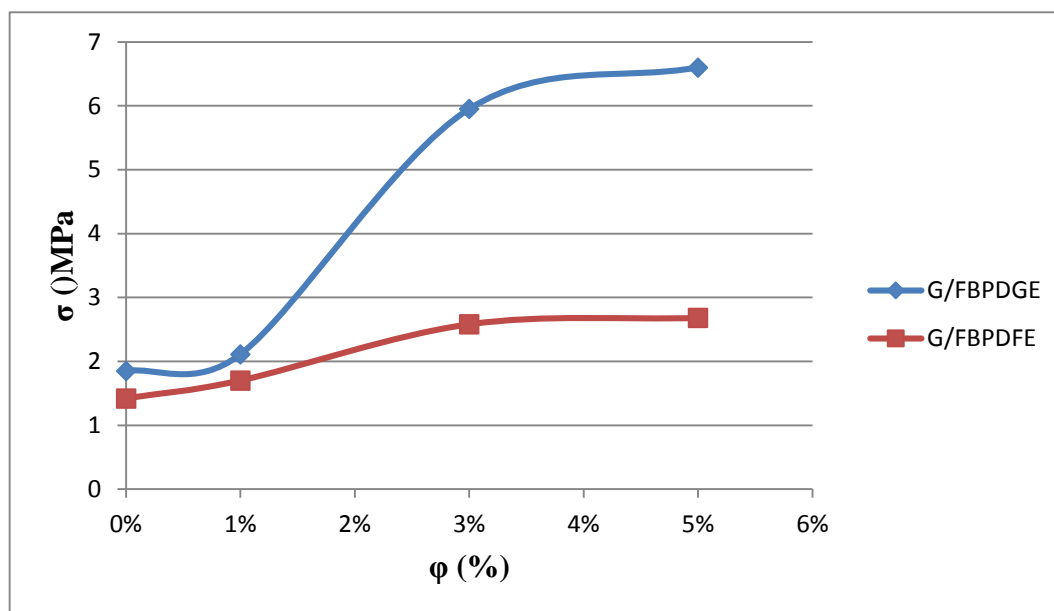


Figure III.3. Résistance à la flexion des composites G/FBPD_{GE} et G/FBPD_{FE}.

La figure III.3 présente une augmentation de la résistance à la flexion lorsqu'on introduit des fibres grossières traitées de palmier dattier dans nos composites étuvé, ceci peut être expliqué par la reprise de l'effort par les fibres grossières traitées. Néanmoins, les résultats obtenus pour les composites renforcés par des fibres fines ont une résistance à la flexion plus faible, ce qui démontre que les fibres fines n'ont pas les mêmes propriétés mécaniques que les fibres grossières.

Ce résultat montre que la résistance à la flexion est influencée par les dimensions des ajouts de fibres.

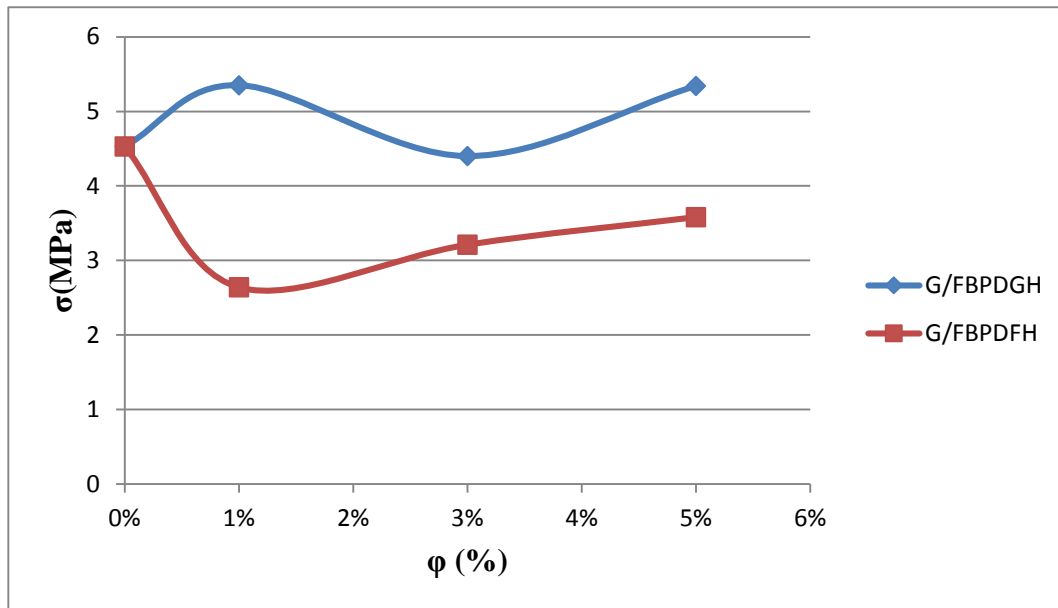


Figure III.4: Résistance à la flexion des composites G/FBPD_{GH} et G/FBPD_{FH}

A partir de la Figure III.4 on note une augmentation de la résistance à la flexion lorsqu'on introduit des fibres grosses de palmier dattier dans nos composites, ceci peut être expliqué par la reprise de l'effort par les fibres grosses traitées. Néanmoins, les résultats obtenus pour les composites renforcés par des fibres fines ont une résistance à la flexion plus faible, ce qui démontre que les fibres fines n'ont pas les mêmes propriétés mécaniques que les fibres grosses. Ce résultat montre que la résistance à la flexion est influencée par les dimensions des ajouts de fibres.

Il a noté que le changement de la résistance à la flexion des *G/FBPD* humide n'est pas proportionnel avec l'augmentation de concentration de fibre de bois de palmiers dattiers. Ce comportement est peut être lié à la présence de l'eau dans les composites notamment dans les fibres [2].

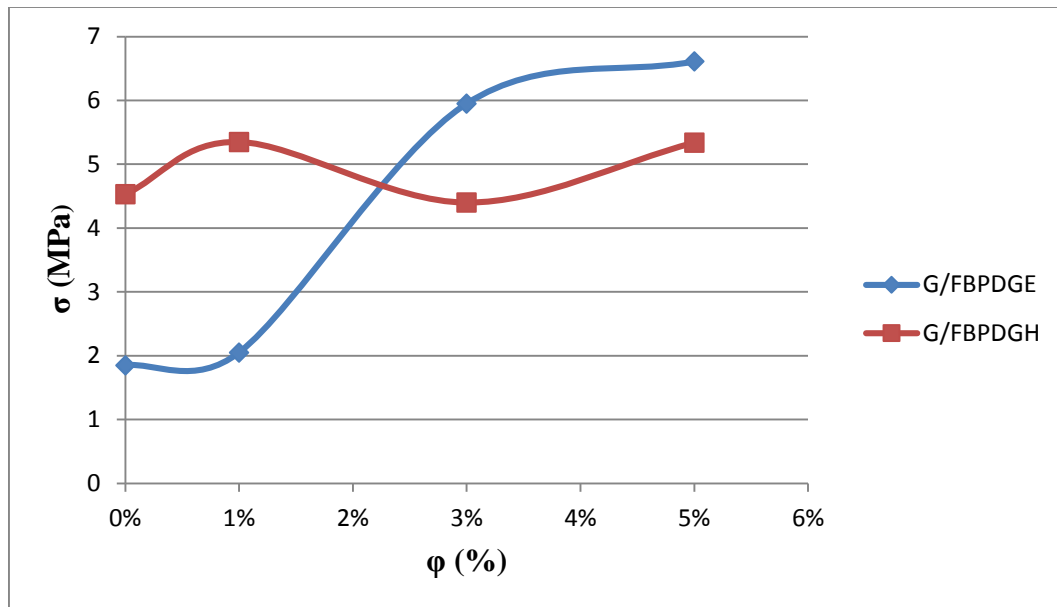


Figure III.5: Résistance à la flexion des composites G/FBPD_{GE} et G/FBPD_{GH}

La figure III.5 présente la variation de la résistance à la flexion des composites renforcés en fibres grosses traitées étuvé. Ces résultats montrent que la résistance à la flexion des échantillons ayant subies une cure de séchage de 7 jours à l'air libre, est faible comparées avec les échantillons étuvées. On remarque aussi que pour le échantillon témoins (0% d'ajout), le composite étuvé résiste deux fois plus que le composite non-étuvé. On constate aussi qu'avec l'ajout des concentrations massiques des fibres, nos composites diminuent en matière de résistance à la flexion. Ce résultat peut être attribué à la porosité crée dans la matrice par l'effet d'ajout de fibres.

Pour les composites *G/FBPD_{GE}*, à partir d'une concentration massique en fibres de 3%, nos composites montrent une nette amélioration en résistance à la flexion par rapport au composite témoin (gypse pur), cela montre que l'ajout des fibres améliorent la résistance à la flexion que dans certains cas. Ce comportement est dû au gonflement des fibres sous l'effet de l'absorption de l'eau, en plus les composites ne sont pas bien séchés. Ce phénomène participe d'une manière directe sur les résistances mécaniques des composites.

Selon CHIKHI [2] la résistance à la flexion des composite charge par des fibres grosse humide montre une résistance maximal quand la concentration est 3% au 28^{eme} jour de séchage, soit 3.650 ± 0.56 MPa et toujours les échantillons exposé pendant 28 jour ont une résistance maximal ;

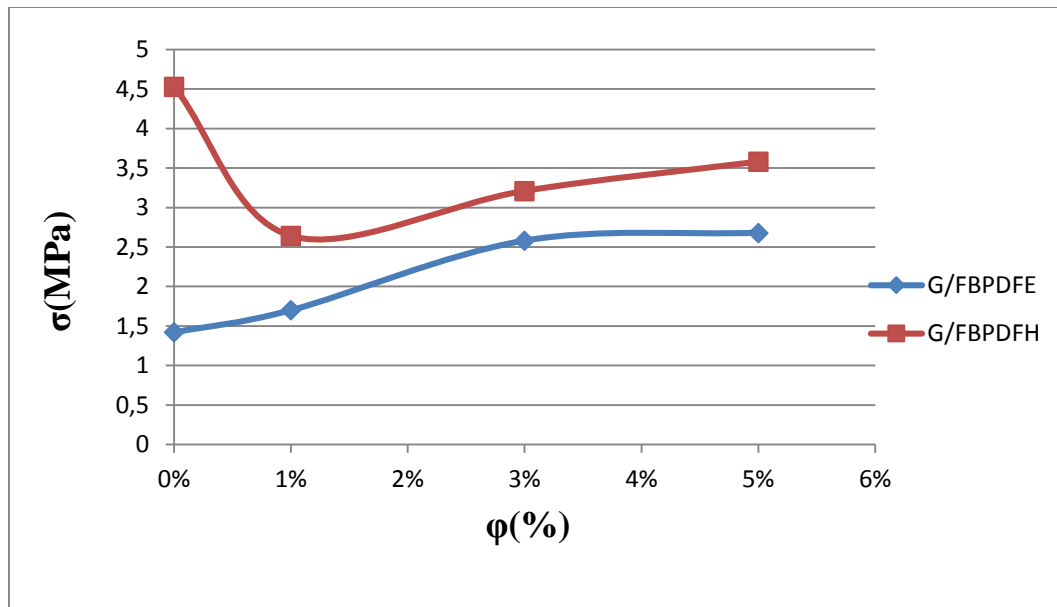


Figure III.6: Résistance à la flexion des composites G/FBPDF_{FE} et G/FBPDF_{FH}

La figure III.6 illustre la variation de la résistance à la flexion des échantillons de composites en fonction de leur conservation. La résistance à la flexion des échantillons augmente avec l'augmentation de taux de fibre. Ce comportement est similaires pour les deux composites avec les mêmes optima (5%), mais on remarque que les composites humide ont une résistance à la flexion supérieures, ce qui permet de conclure que les composites humide a l'aire libre 7 jours en résulte chez eux un meilleur durcissement.

Selon CHIKHI [2] la résistance à la flexion des composite charge par des fibres fines humide montre une résistance maximal quand la concentration est 1.2% au 28^{eme} jour de séchage, soit 2.901 ± 2.03 MPa et toujours les échantillons exposé pendant 28 jour ont une résistance maximal ;

III.2. Résistance à la compression (σ_c)

Le tableau III.4 présente les valeurs expérimentales d'essais de résistance à la compression des composites à base de gypse et de fibres de bois de palmiers dattiers comme variante.

Tableau III.4 : les résultats obtenus d'essais de résistance à la compression des composites

G/FBPD _{GE} , G/FBPD _{FE} , G/FBPD _{GH} et G/FBPD _{FH}				
G/FBPD (%)	σ_c (MPa) G/FBPD _{GE}	σ_c (MPa) G/FBPD _{FE}	σ_c (MPa) G/FBPD _{GH}	σ_c (MPa) G/FBPD _{FH}
0	1,37	1,37	3,21	2,15
1	1,5	1,62	3,31	2,25
3	1,65	1,5	3,12	2,4
5	2,06	1,93	3,12	2,43

ce travail a pour but avoir une idée sur la résistance à la compression des matériaux composites à base des fibres de bois de palmier dattier grosse traitée chimiquement et des fibres soit humide ou bien étuvé.

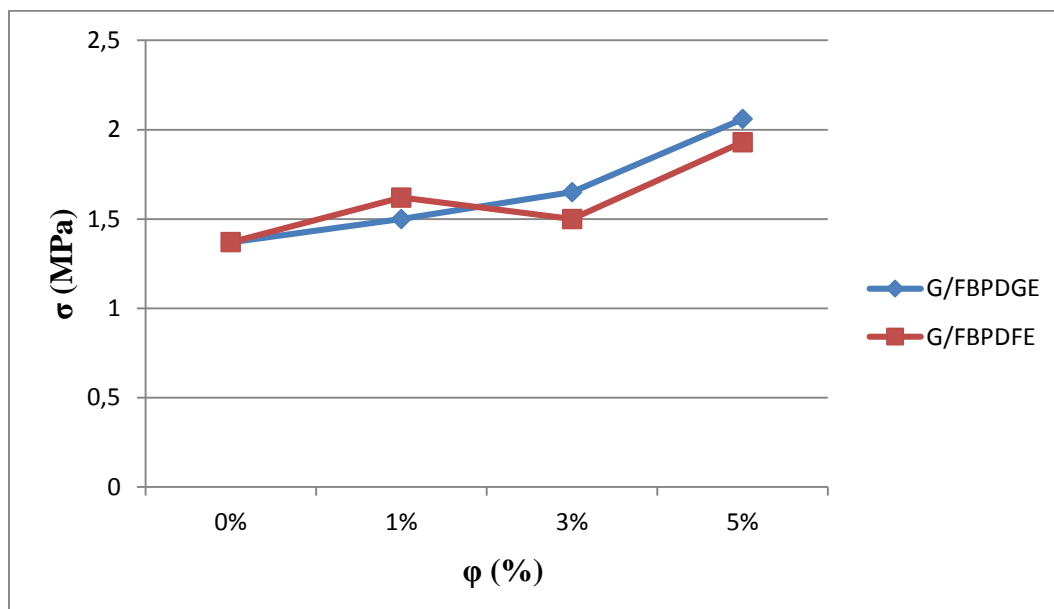


Figure III.7: Résistance à la compression des composites G/FBPD_{GE} et G/FBPD_{FE}

La figure III.7 présente l'évolution à compression des différents échantillons de composites. On constate que les composites G/FBPD_{GE} présentent une meilleure résistance à la compression que celles des composites G/FBPD_{FE} ce qui montre que le renforcement de nos composites en fibres fines induit une fragilisation intérieur de la matrice gypse et diminue par conséquent sa résistance à la compression. [2]

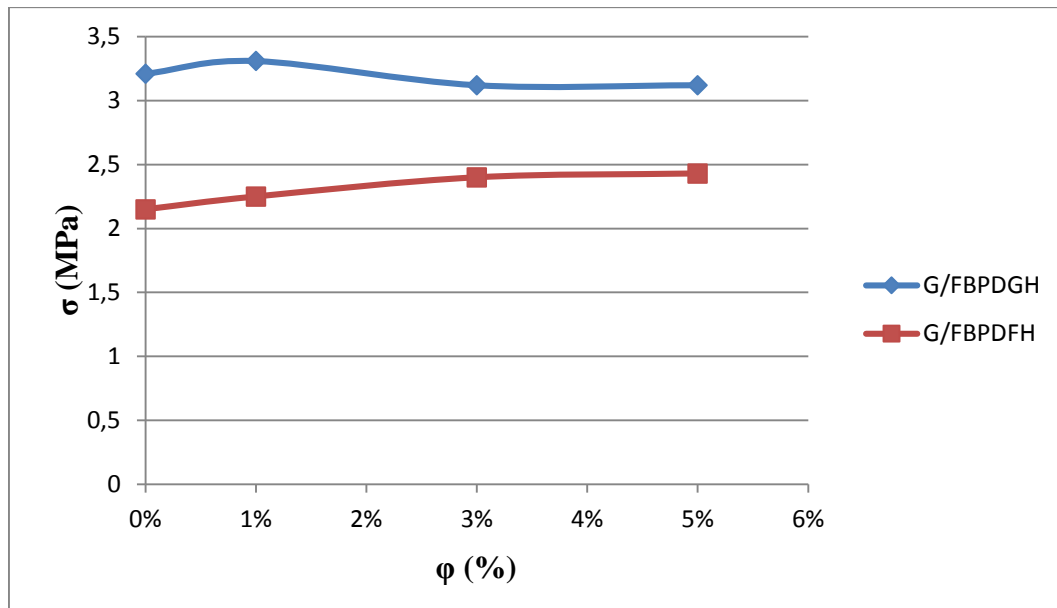


Figure III.8. Résistance à la compression des composites G/FBPD_{GH} et G/FBPD_{FH}

La courbe ci-dessus illustre des échantillons qui ont été soumis aux mêmes conditions de séchage (7 jour à l'air libre), les valeurs obtenues nous ont permis de constater que les composites renforcés par les fibres grosses traitées présentent une meilleure résistance à la compression. Ce comportement est par conséquent l'effet de taille des fibres sur le composite. CHIKHI et à la [2] a montré que la taille des fibres a une corrélation proportionnelle inverse avec la résistance à la compression après 14 et 28 jours.

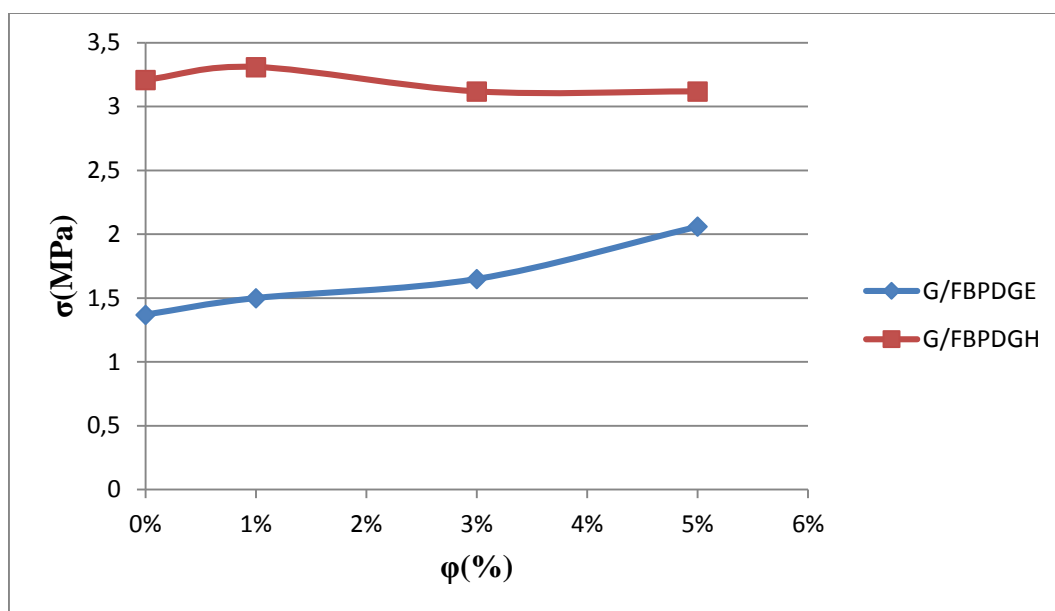


Figure III.9 : Résistance à la compression des composites G/FBPD_{GE} et G/FBPD_{GH}

Figure III.9 présente la variation de la résistance à la compression des composites à base de gypse renforcés par des fibres grosses traitées et qui ont été conditionnés dans deux environnements différents (humide et sec). L'allure de la courbe montre que la résistance à la compression de composite humide diminue légèrement en introduisant les fibres de palmier dattier comparé au gypse pur. Ce résultat montre que pour les échantillons humides, l'ajout de faible quantité de fibres (inférieure à 5%) n'a pas de grande influence sur la résistance à la compression des composites.

Concernant les composites étuvés, on note un comportement opposé que celui décrit pour les échantillons humide. Il est enregistré des valeurs de résistance à la compression plus importante que celle du gypse pur, elle atteint 2.1 MPa pour un taux de 5%. A partir de ce résultat on peut dire que, l'ajout de fibres de BPD améliore la résistance à la compression du matériau gypse.

Il a été constaté également que les composites ayant subis une cure de séchage de 7 jours à l'air libres montrent une résistance à la compression inférieure à celles des composites séchés dans une étuve. Ce résultat est peut être due à l'évaporation d'eau des composites qui induise des vides dans le composite impliquant une fragilisation de matériau.

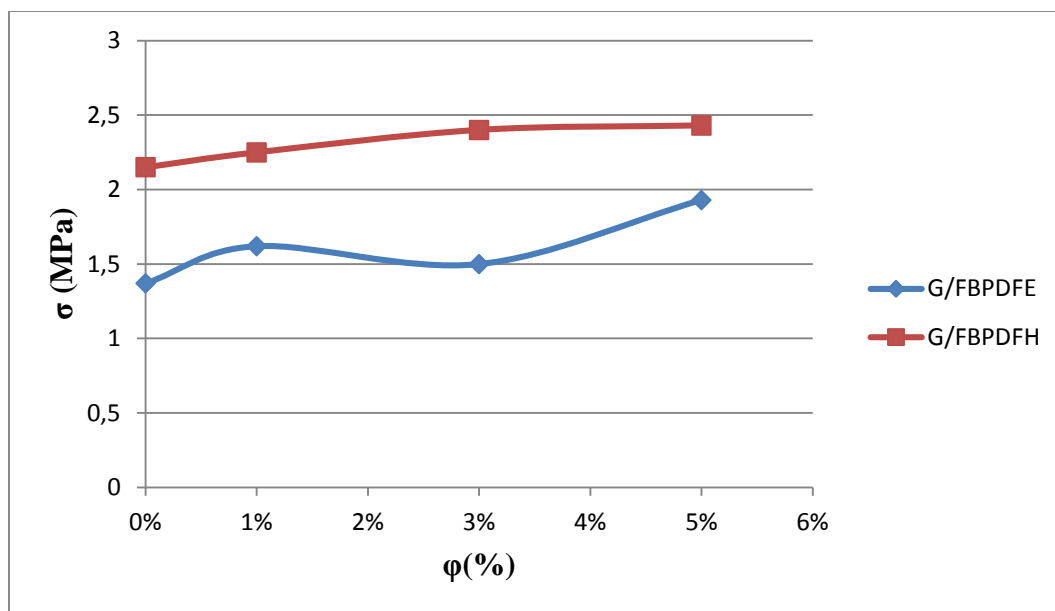


Figure III.10 : Résistance à la compression des composites G/FBPDF_E et G/FBPDF_H

Figure III.10. Le même constat a été enregistré pour les composites G/FBPDF_E, en effet les échantillons qui ont été étuvés montrent une résistance à la compression plus supérieure à celles séchées à l'air libre. Ce résultat indique que les composites humides ont une meilleure résistance à la compression comparé aux composites séchés.

D'après les résultats de différente analyse mécanique, on a conclu que les composites à base de gypse chargés par les fibres de bois de palmier dattier traitée chimiquement sont présentes de propriété idéal. Par rapport à les composites à base de gypse chargés par les fibres de bois de palmier dattier fine.

III.3. Comparaison avec les résultats mécaniques des composites à base de gypse

Le tableau III.5 présente une comparaison des valeurs expérimentales des résistances à la compression et à la flexion des composites à base de gypse. On remarque que le composite à base de gypse renforcé par des fibres de palmier dattier grosse traitée chimiquement présente une résistance à la compression assez élevée en terme de résistance à la flexion que celle des matériaux présentés dans le tableau III.5. Concernant la résistance à la compression notre matériau est assez faible que les autres matériaux flexion (voir tableau III.5). On peut conclure que, les résistances mécaniques des composites G/FBPD leur permettent d'être appliqués comme matériau de construction.

Tableau III.5. Valeurs de la résistance à la compression et à la flexion de composites à base de gypse.

Matériaux composites	σ_c(Mpa)	σ_f(Mpa)	Réf
Gypse/FBPD (traité)	1.65 (3%) 2.06 (5%)	5.95 (3%) 6.61 (5%)	Ce travail
Gypse/FBPD	7.32 (5%)	3.65 (3%)	[2]
Gypse/scories/coton 5/3/2 (masse%)	--	5.60	[3]
Plâtre/Polyamide 6 4% (masse%)	5	2.5	[4]
Plâtre sandwich (nid d'abeilles)	2.93	--	[5]

IV. Essai thermique

Le Tableau III.6 présentes les résultats obtenus de la conductivité thermique (λ), la chaleur spécifique (C_p), la diffusion thermique (a) et les masse volumique des échantillons G/FBPD grosse traitée chimiquement (1% NaOH) étuvée.

Tableau III.6. la conductivité thermique, la chaleur spécifique, la diffusion thermique et la masse volumique de G/FBPD grosse étuvé.

G/FBPD(%)	λ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Cp (kJ.m ⁻³ .K ⁻¹)	a (×10 ⁻⁷ .m ² .s ⁻¹)	ρ (kg.m ⁻³)
0	0,4	1112,8	3,57	1005
1	0,325	979,8	2,98	1112
3	0,289	975,4	2,29	1113
5	0,248	965,2	2,59	992

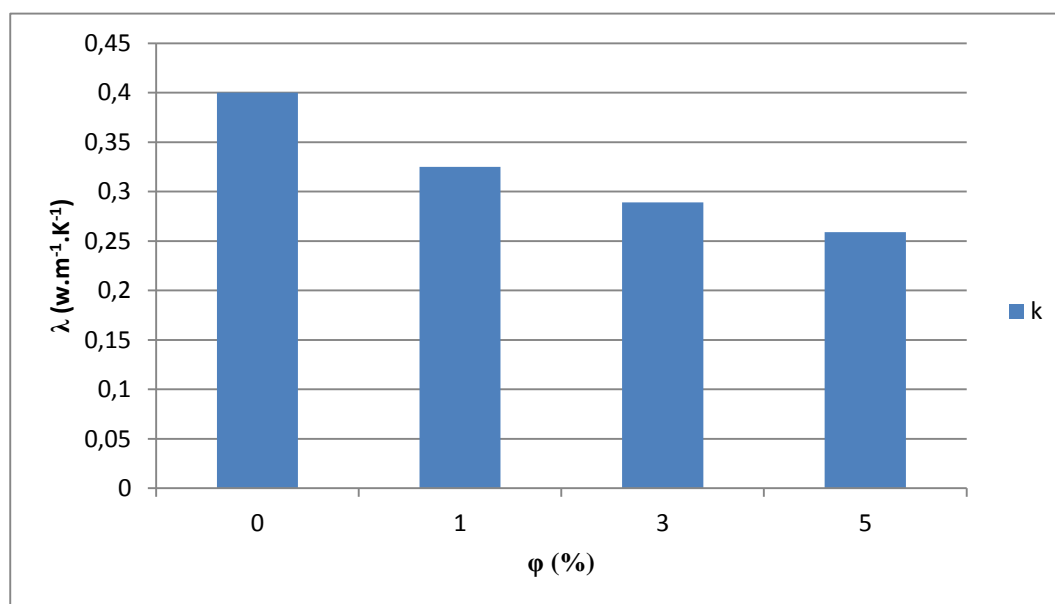


Figure III.11. Evolution de la conductivité thermique des composites (G/FBPD_{GE}) en fonction de la concentration des fibres.

L'histogramme présente l'évolution de la conductivité thermique des composites (G/FBPD_{GE}) en fonction de la concentration des fibres grosses étuvée traitée chimiquement. On remarque que l'ajout de FBPD réduit la valeur de la conductivité thermique effective du gypse.

Pour une concentration de 1% de FBPD, la conductivité thermique du gypse diminue de $0.4 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ à $0.325 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Pour le composite G/FBPD 5 (%) la conductivité thermique atteint 0.24 soit une atténuation de 35%.

La conductivité thermique de nos composite, dépend de celles des renforts qui le constituent, plus la conductivité thermique des inclusions est faible, plus le composite est isolant.

Nos résultats sont coïncidant a celles de CHIKHI et à la [2] qui trouve la conductivité thermique et diminue avec l'augmentation de concentration des fibres

Cette évolution est similaire à celles obtenues par les travaux de Ashour et al. [1] pour des composites à base de plâtre chargés par des pailles d'orge, pailles de blé et copeaux de bois, la conductivité thermique effective de ces matériaux diminuent en ajoutant des fibres naturelles

IV.1. Corrélation entre la conductivité thermique et la masse volumique

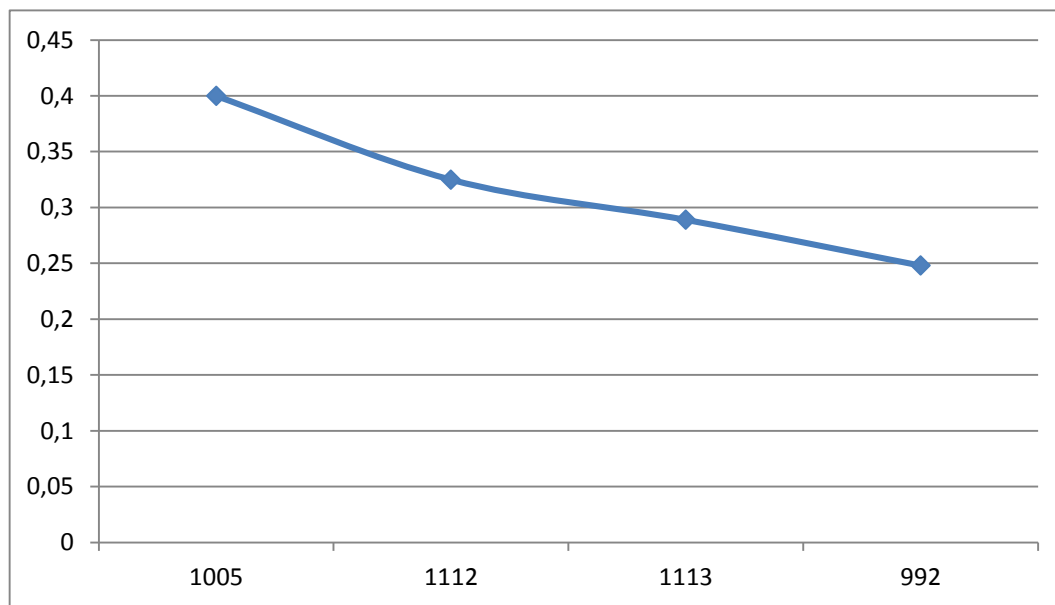


Figure III.12. Evolution de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique des composites.

La relation entre la conductivité thermique et la masse volumique sèche correspondante des composites G/FBPD est illustrée par la figure III.12. On note que la conductivité thermique diminué en fonction de la masse volumique. Cela montre l'existence d'une relation directe entre la masse volumique et la conductivité thermique des composites.

Il est à noter que, l'augmentation de vides diminue la masse volumique des composites, impliquant une grande résistance thermique et une faible conductivité thermique. Par ailleurs, nos résultats indiquent que l'effet de la concentration des FBPD sur la conductivité thermique et la masse volumique des composites est plus significative [2].

IV.2. Comparaison de résultats thermiques avec ceux des composites naturels utilisés pour l'isolation thermique

Le tableau III.7 présente une comparaison des résultats obtenus pour λ et ρ dans cette étude avec les résultats d'autres recherches concernant les composites renforcés en fibres naturels pour des applications d'isolation thermique dans le bâtiment.

Le tableau III.7 Comparaison de résultats obtenus pour λ et ρ

Matériaux	λ	ρ	Réf
	[W /m.k]	[Kg/m ³]	
Gypse/FBPD Traitée (5%)	0.4-0.24	1005-992	Cette étude
GH/FBPD (10%)	0.15-0.17	753	[2]CHIKHI
Gypse pur	0.44	1130	[2]CHIKHI
Plâtre/coupeaux de bois (25%)	0.28	1605	[1]T ASHOR

Le tableau III.7, montre une la comparaison de résultats thermiques des composites développés dans ce travail et les composites de même base à savoir le gypse (ou le plâtre).

On distingue que le composite G/FBPD grosses étuvé et traitées chimiquement avec 1% de NaOH possède des valeurs de λ et ρ inférieures à celles des composite de gypse pure et celui renforcé avec des coupeaux de bois (25%).Néanmoins, elles sont supérieures à celles des composites Gypse/FBPD et GH/FBPD (10%) développé par Chikhi et al. [2].

D'une part, du point de vue renfort, on constate que l'utilisation des fibres du bois de palmier dattier produisent des valeurs de λ et ρ inférieures à celles des fibres de durian, noix de coco, ou bien supérieures à celles du chanvre (pour des composites à base de ciment). Cependant, il faut préciser que, du point de vue concentration, la valeur maximale de la concentration des fibres

utilisée dans notre composite (5 % de fibres) est la plus faible concentration comparée aux autres teneurs des fibres ajoutés dans les composites [2].

D'autre part, on peut déduire que les composites à base de gypse renforcés par des FBPD traitées chimiquement avec 1 (%) de NaOH sont un bon candidat pour isolation thermique dans le bâtiment.

V. Ultrasons :

Le tableau III.8 présente la Variation des vitesses de propagation des ondes ultrasonores dans différentes concentration de G/FBPD. Les composites étudiés sont développés selon deux dimensions de fibres à savoir les fibres fines et grosses.

Tableau III.8. Variation des vitesses de propagation des ondes ultrasonores dans différentes concentration de G/FBPD

G/FBPD (%)	G/FBPD_{GE} V (m/s)	G/FBPD_{FE} V (m/s)
0	1258,85	1258,85
1	1233,61	1327,80
3	1194,02	1084,74
5	856,98	1049,18

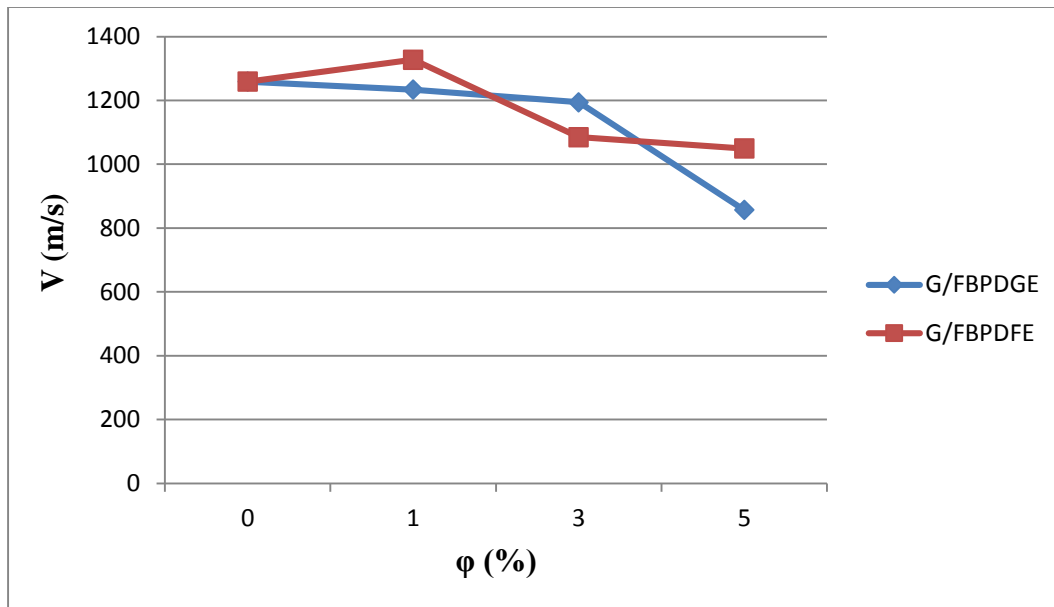


Figure III.13. Vitesses de propagation des ondes ultrasonores dans nos composites G/FBPD_{GE} et G/FBPD_{FE}.

A partir de la figure III.13, on peut remarquer que les échantillons de composites G/FBPD_{FE} présentent des vitesses plus élevées que celles des échantillons G/FBPD_{GE}. Ce résultat est attribué à la vitesse des ondes ultrasonores qui est plus intéressante dans les composites renforcés avec les fibres fines puisque les échantillons renforcés avec les fibres grosses traitées chimiquement contiennent des pores.

Il est à noter que la vitesse des ondes ultrasonore dépend du compactage des composites et pour dégage les bulles d'air (diminués la porosité) qu'il y a une relation proportionnelle inverse entre la vitesse de propagation des ondes ultrason et la quantité des fibres

Il est noté que le mauvais compact crée des porosités internes qui sont permis de transmettre les ondes ultrason dans le vide.

Tableau III.9. Le temps et les fréquences de propagation des ondes ultrasons dans les composites $G/FBPD_{GE}$ et $G/FBPD_{FE}$

G/FBPD (%)	t (μ s)	Fréquence(Hz)	t (μ s)	Fréquence(Hz)
	G/FBPD _{GE}	G/FBPD _{GE}	G/FBPD _{FE}	G/FBPD _{FE}
0	127,21	7861	127 ,21	7861
1	129,7	7710	120,5	8298
3	134	7462	147	6802
5	186,7	5356	152,2	6570

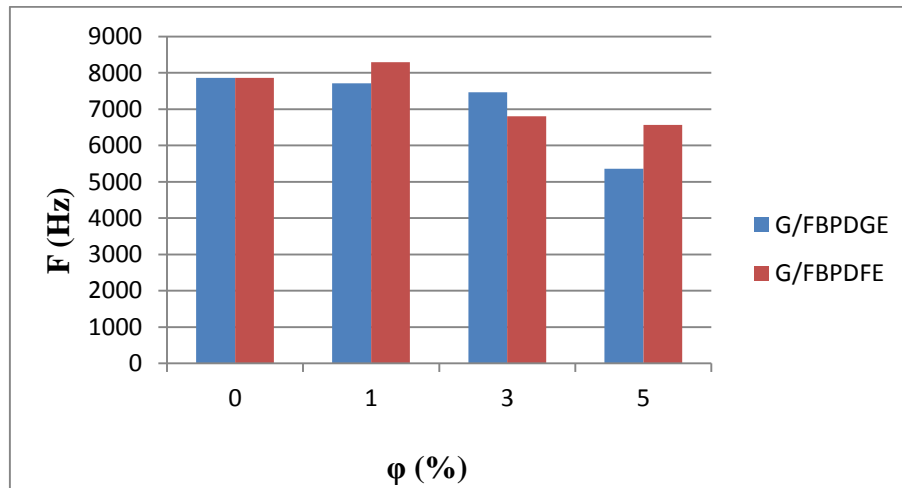


Figure III.14 les fréquences des ultrasons dans les composites $G/FBPD_{GE}$ et $G/FBPD_{FE}$

La figure ci-dessus présente les fréquences des ultrasons dans les composites $G/FBPD_{GE}$ et $G/FBPD_{FE}$. Les résultats ont été comparés par rapport à un échantillon d'étalonnage de polymère (6666Hz) donc le gypse pur est un isolant acoustique et cette propriété améliorées par l'augmentation de concentration des fibres (5% de fibre grosse et à 3% pour les fibres fines).

Référence :

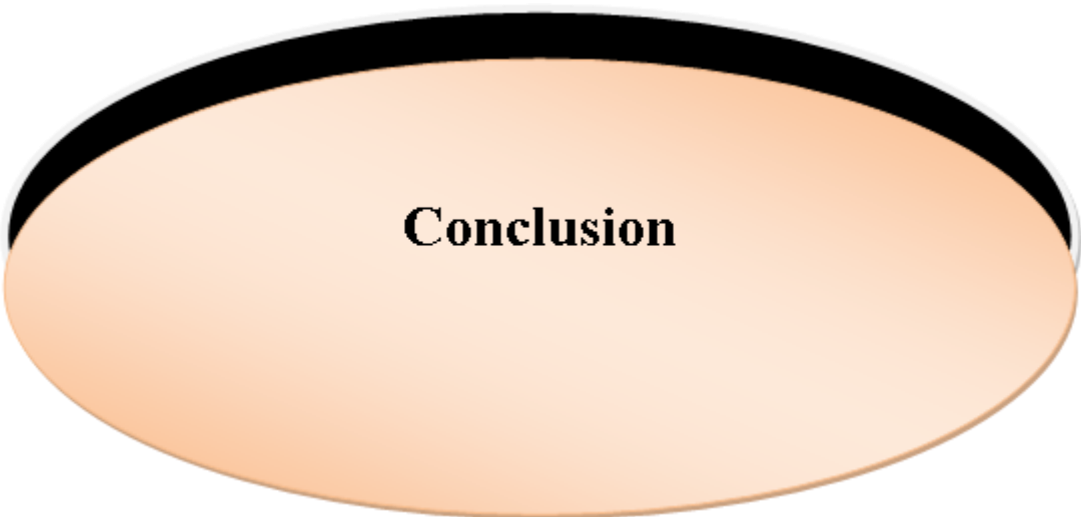
[1] **T. Ashour, H. Georg, W. Wu**, "Performance of straw bale wall: A case of study," Energy and Buildings, vol. 43, pp. 1960-1967, 2011.

[2] **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.

[3] **G. Li, Z. Zhao, J. Li, C. Li**, "Properties study of cotton stalk fiber/gypsum composite," Cement and Concrete Research, vol. 33, pp. 43-46, 2003.

[4] **F. Parres, J.E. Crespo-Amorós,A. Nadal-Gisbert**, "Mechanical properties analysis of plaster reinforced with fiber and microfiber obtained from shredded tires," Construction and Building Materials, vol. 23, pp. 3182–3188, 2009.

[5] **M. Rio Merino, J. Santa Cruz. Astorquie, F. Hernandez-Olivares**, "New prefabricated elements of lightened plaster used for partitions and extrados," Construction and Building Materials, vol. 19, pp. 487-492, 2005.



Conclusion

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire a été consacré dans un premier temps au développement d'un nouveau matériau bio-composite constitué de fibres de bois de palmier dattier dispersées dans une matrice gypse en vue de l'utiliser comme un isolant thermique, et acoustique. La partie expérimentale porte sur l'élaboration et la caractérisation thermique et mécanique de ce bio-composite.

Il a été constaté à partir de cette étude que, l'effet de la compatibilité entre la matrice et la charge sur la conductivité thermique effective des composite est plus significative que le type de charges. Mais les propriétés thermo-physiques notamment la conductivité thermique de ces bio-composites varient en fonction de la concentration des fibres, tandis que l'effet de taille des fibres sur les propriétés thermo-physiques est moins significatif. Les résultats montrent aussi que l'incorporation de 5% de FBPD dans le gypse produit un composite avec une $\lambda = 0.24 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et $\rho = 992 \text{ kg.m}^{-3}$. Ce qui lui permet d'être appliqué comme isolant thermique dans panneaux comme un matériau de construction dans le bâtiment. Néanmoins, les propriétés mécaniques diminuent en augmentant le volume des fibres dans la matrice. Il est à noter que, les propriétés thermique et mécanique optimales sont données par une fraction volumique variant entre 3 et 5% de FBPD.

Il est à noter que l'effet de la concentration des fibres de bois de palmier dattier sur le gypse est très significatif sur le comportement thermo-physique des composites. Tandis que, les propriétés mécaniques sont fortement influencées par la concentration et la taille des fibres.

Les résultats d'essais expérimentaux concernant le comportement mécanique de composites à base de gypse chargés avec des fibres de palmier dattier en tenant en compte la concentration massique et la taille des fibres, ainsi que séchages des composites (séché et 7 jours de séchage naturel) sont présentés et discutés. L'influence de l'eau sur les composites G/FBPD a été présentée et analysée.

On a constaté que, d'une part la résistance à la compression et à la flexion de tous les échantillons augmentant en augmentant la teneur en fibres. Les résultats mécaniques du bio-composite obtenus par cette étude sont similaires et parfois meilleurs comparés aux valeurs fournis dans la littérature concernant d'autres matériaux.

Les résultats d'essais ultrason montrent que le gypse est un isolateur phonétique et cette propriété décline avec l'ajout de renforcement de FBPD, et ce matériau n'est pas valable pour les grands ouvrages d'art.

Il est a noté que, d'une part, le bio-composite développé dans cette étude est d'origine naturel et renouvelable, présente des performances techniques et économiques intéressantes comparées à ceux des isolants issus de ressources synthétiques.

D'autre part, l'utilisation du renfort bois de palmier dattier avec une autre matrice Les enjeux d'une association avec une autre matrice que le gypse seront probablement différents ; avec un composite résine/bois, on pourra rechercher une diminution de masse volumique, tandis qu'un composite gypse boit pourra viser des applications structurales avec de meilleures performances en compression. L'évaluation des performances du matériau devra donc dans ces cas-là passer par les tests dédiés.