

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU



Faculté Génie de la construction

Département de Génie Civil

Mémoire de projet de fin d'études Pour l'obtention du Diplôme de Master en Génie civil

Spécialité : structure

**Thème : Comportement Mécanique D'un Mortier
De Ciment A Base De Fibre Végétale**

Réalisé par :

Mokhtar Nadia

Encadré par :

Mme kheloui fatma

Année universitaire 2020/2021



REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier DIEU en premier pour m'avoir donné le courage et l'aide nécessaires afin de pouvoir réaliser ce travail.

Je tiens à exprimer mes profonds remerciement à ma promotrice M^{me} KHALOUI.F qui m'a fourni le sujet de ce mémoire et m'a guidé de ses précieux conseils ainsi que son aide pratique

Mes remerciements s'adressent également à Mr. DJADOUN Toufik et M^{me} AKMOUSSI pour leur soutien moral et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles

Mes remerciements vont aussi aux techniciens du laboratoire de département génie civil à l'UMMTO, pour leur explications et contribution à la réalisation de ce travail.

Je tiens surtout à remercier mes chers camarades « M^r DAROUAZ JUGURTHA ; BENYOUCEF RABAH ; ABDELMADJID BILAL pour leur aide pratique

Enfin pour tous ceux qui ont participés de près ou de loin à réaliser de ce modeste travail.

MERCI



Dédicace

A mes parents «ma chere maman dahbia et mon agréable papa mouloud» qui m'ont soutenu durant toutes ces années d'études qu'il trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mes frères ; AMINE et MAHDI. A Mes sœurs ; CAMILIA et SIHAM

A mon partenaire de la vie « mon mari RABIE » je te dois vraiment,

A mes grands-parents « yemma hebou »et « vava hemou » ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail

A mes deux petits neveux que j'aime trop et à ceux que je souhaite un meilleur avenir « AMIR et ISRAA »

A mes oncles, et à toute ma famille

A mes chers et adorables amies « SAFIA ; lydia ; nadia ; jugurtha ; Bilal ; rabah ; mohand-arab » au terme de l'amitié qui nous a réuni.

A tous ceux qui ma réussite leur tient à cœur



NADIA

RESUME

Ce travail porte sur l'étude de comportement mécanique des mortiers à base de fibres végétales. L'objectif principal de ce travail est l'étude de l'effet de l'incorporation des fibres sur les propriétés mécaniques (résistance à la compression et résistance à la flexion trois points). Dans cette étude, nous avons fait varier deux paramètres tels que: la longueur des fibres (7cm, 10 cm) et le pourcentage en fibres (0.25%, 0.5%, 0.75%, 1%, 1.25% et 1.5%).

Les résultats démontrent qu'il y a une légère augmentation de la résistance à la compression des mortiers fibrés par rapport au mortier témoin (mortier sans fibres). En ce qui concerne les essais de flexion trois points, les mortiers fibrés ont présenté des résistances supérieures par rapport au mortier témoin et cela pour les différentes longueurs et différents pourcentages étudiés.

Mots clés : Mortier, Fibre végétale, Expérimentation, caractérisation mécanique, analyse.

ABSTRACT

This work concerns the study of the mechanical behavior of mortars based on vegetable fibers. The main objective of this work is the study of the effect of fibers incorporation on the mechanical properties (compressive strength and three-point bending strength). In this study, we varied two parameters such as: the fibers length (7cm, 10 cm) and the fibers percentage (0.25%, 0.5%, 0.75%, 1%, 1.25% and 1.5%).

The results show that there is a slight increase in the compressive strength of the fiber-reinforced mortars compared to the reference mortar (mortar without fibers). With regard to the three-point bending tests, the fiber-reinforced mortars presented higher resistances compared to the reference mortar and this for the different lengths and different percentages studied.

Keywords: Mortar, Plant fiber, Experimentation, mechanical characterization, analysis.

SOMMAIRE

Résumé

Introduction générale

Chapitre I : généralité sur le mortier

I Introduction	2
I.1 Historique.....	3
I.2 La classification des mortiers	3
I.3 Les composants d'un mortier	7
I.3.1 Le ciment.....	7
I.3.2 Le sable.....	8
I.3.3 L'eau.....	9
I.3.4 Les adjuvants.....	9
I.4 Domaines d'Utilisation des mortiers.....	9
I.5. Les caractéristiques principales des mortiers.....	11
I.6 Comportement mécanique, thermique, acoustiques etc.....	13
I.6.1 Comportement mécanique.....	13
I.6.2 Le comportement thermique	17
I.6.3 Le comportement acoustique	17
I.7 Avantage et inconvénient.....	18
I.8 Conclusion.....	19

Chapitre II : généralité sur les fibres végétales

II.1Introduction.....	20
II.2Fibres naturelles	21
II.3 fibre végétale.....	22
II.3.1Définition de la fibre végétale	22
II.3.2Classification des fibres végétales	25
II.3.3Structure et morphologie des fibres lignocellulosiques	23
II.4 Classification des fibres végétales.....	25

SOMMAIRE

II.4.1 Les fibres de feuilles	25
II.4.2 Les fibres de tiges	25
II.4.3 Les fibres de bios	25
II.4.4 Les fibres de surface	26
II.5 Caractéristique physiques et mécaniques des fibres végétales	26
II.6 Caractéristique chimiques des fibres végétales.....	27
II.6.1 La cellulose	27
II.6.2 Hémicellulose	27
II.6.3 Lignine.....	28
II.7 Domaine d'utilisation dans le génie civil.....	28
II.8 Comportement d'un mortier a' base de fibres végétales : mécaniques, acoustiques, thermiques, etc	29
II.9 Travaux antérieurs (citez les travaux des auteurs	32
II.3.4 Le sisal.....	38.
II.3.4.1 Comment produit le sisal	39
II.3.4.2 Les diverses utilisation du sisal.....	40
II.3.4.3 Technique d'extraction de fibres de sisal	41
II.10 Conclusion.....	44

Chapitre III : matériaux et expérimentale

Introduction	45
III.1 Présentation des matériaux étudiés.....	45
III.1.1 Le mortier	45
III.1.2 Ciment.....	45
III.1.3 Sable.....	47
III.1.4 L'eau.....	48
III.1.5 Le sisal.....	48
III.2 Détermination des proportions des matériaux (mortier témoin, mortier a' base de fibres,...).....	51

SOMMAIRE

III.3 Détermination de la masse volumique apparente, absolue, équivalent de sable,.....	51
III.4 Fabrication et préparation des spécimens	51
III.4.1 Préparation et fabrication des moules	56
III.4.2 Malaxage et mise en œuvre du mortier	56
III.5 Essais de compression et de flexion.....	58
III.6 Conclusion	60

Chapitre VI : interprétation des résultats

VI.1 Introduction	61
VI.2 Comportement en flexion trois point.....	61
VI.3 Comportement en compression simple.....	71
VI.5 Conclusion.....	71
Conclusion général	71

LISTE DES FIGURES

Chapitre I: Généralité sur le mortier

Figure 1 Mortier de Ciment	4
Figure 2 : Mortier de chaux	5
Figure 3 : Mortier bâtards	5
Figure 4 : Mortier industriel	6
Figure 5 : Le ciment	8
Figure 6 : Le sable	18
Figure 7 : Pose de mortier de maçonnerie.	10
Figure 8 : Les chapes fluides et chape ciment.....	10
Figure 9 : Enduits isolants et enduits de façade.....	11
Figure 10(a) : Courbes des types de comportement d'un matériau sollicité en traction uniaxiale....	13
Figure 10(b): Conductivité thermique des mortiers de fibres de noix de coco et du palmier à huile.....	14
Figure 11 : Schéma statique de l'essai de compression.....	15
Figure 12 : Courbe contraintes-déformations dans le béton.....	16
Figure 13 : Schéma statique de l'essai de flexion.....	16

Chapitre II : Généralité sur les fibres végétales

Figure 1: Classification des fibres naturelles.	22
Figure 2: Structure du bois (observations multi échelles).....	24
Figure 3: : Classification Schématisation des fibres végétales.....	24
Figure 4 : Courbe contrainte-déformation de quelques fibres végétales	29
Figure 5: : Comportement en flexion trois points : (a) gypse pur (b) composite gypse-fibre de sisal.....	30
Figure 6: : Courbes force-déplacement typiques en flexion d'un matériau cimentaire non-fibré et de matrices cimentaires renforcés par des fib.....	31

LISTE DES FIGURES

Figure 7: (a) courbe moyenne contrainte-déformation des DPF (b) Le module d'Young du DPF en fonction du diamètre de la fibre.....	33
Figure 8: Effet de la durée de traitement de la soude sur la résistance à la traction de DPF (5% de solution de NaOH à 100 °C).....	34
Figure 9: Propriétés mécaniques pour certaines fibres végétales.....	34
Figure 10: Conductivité thermique des composites en fonction de la teneur en fibres du Palmier Dattier.....	37
Figure 11: fibre naturelles du sisal.....	39
Figure 12: Production totale de sisal 2000-2016.....	40
Figure 13: Utilisation du sisal entre 2000 et 2015 (plus de 500 t/an).....	41
Figure 14: Approche d'extraction des fibres.....	42
Figure 15: Collecte des feuilles de sisal.....	43
Figure 16: Laminage artisanal des fibres.....	43
Figure 17: : lavage des fibres.....	44
Figure 18: Séchage des fibres.....	44
Chapitre III : matériaux et expérimentation	
Figure 1 : Type de ciment	45
Figure 2 : Le sable utilisé	47
Figure 3 : Mécanismes d'action des super plastifiants	48
Figure 4: Micrographie SEM des fibres de sisal.....	48
Figure 5 : Mesure de la masse volumique de la fibre de sisal	50
Figure 6 : Agitateur mécanique.....	53
Figure 7 : Mesure de la masse volumique apparente	54
Figure 8 : Elaboration des mortiers.....	57

LISTE DES FIGURES

Figure 9 : Fabrication et moulage des éprouvettes.....	58
Figure 10 : Machine IBERTEST.....	59
Figure 11:Dispositif de rupture en flexion trois points	59
Figure 12 : Dispositif de l'essai de compression.....	60
Figure 13 : Dispositif de rupture en compression.....	60

Chapitre IV: Résultats et discussion

Figure 1: Machine IBERTEST	62
Figure 2 : Eprouvette sous traction par flexion trois points	62
Figure 3 : Résistance en flexion trois points des mortiers étudiés.....	63
Figure 4: : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 0.25% en fibres.	64
Figure 5: Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 0.50% en fibres.....	64
Figure 6: : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 0.75% en fibres.	65
Figure 7: Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 1% en fibres.....	65
Figure 8: Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 1.25% en fibres.	66
Figure 9: Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 1.5% en fibres.....	66
Figure 10: Courbe force-déplacement en flexion des mortiers (MFS7).....	67
Figure 11: Courbe force-déplacement en flexion du mortier (MFS10).....	68
Figure 12: Mode de rupture des éprouvettes avec fibres de Sisal.....	69
Figure IV.13: Eprouvette soumise à la compression.....	70
Figure IV.14 : Résistance en compression des mortiers étudiés.....	71

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1: Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales.....	23
Tableau II.2. Les caractéristiques physiques des fibres végétales les plus utilisées.....	26
Tableau II.3. Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales.....	27
Tableau II.4: Composition chimique de quelques fibres végétales.....	28
Tableau III. 1 : Analyses chimiques du ciment.....	46
Tableau III.2 : Composition minéralogique du ciment.....	46
Tableau III.3 : Les caractéristiques physiques du ciment.....	46
Tableau III.4 : Résistance à la compression (NA 234).....	47
Tableau III.5 : Composition chimique de fibre de sisal en % massique [A].....	49
Tableau III.6 : Propriétés physiques de fibre de sisal.....	50
Tableau III.7 : Détermination d'équivalent du sable.....	51
Tableau III.8 : Équivalent de sable.....	54
Tableau III.9 : Masses volumiques de sable utilisé.....	55
Tableau III.10 : Composition des différents mortiers.....	56
Tableau III.11 : La masse de la fibre utilisée.....	57
Tableau IV.1 : Résistance en flexion des mortiers étudiés.....	63
Tableau IV.2 : Résistance en compression des mortiers étudiés.....	70

INTRODUCTION GENERAL

L'Algérie est un des pays qui disposent d'extraordinaires ressources en fibres végétales (Palmier, Alfa, Cotton, Sisal...), malheureusement, leur valorisation dans les domaines pratiques, entre autre, dans les matériaux de construction est encore peu exploitée. Plusieurs travaux s'alignent sur le fait que l'utilisation des fibres végétales dans le mortier s'avère une solution avantageuse, vu son abondance, son impact socioéconomique et environnemental.

L'idée d'introduire la fibre végétale dans le domaine du Génie Civil ne date pas d'aujourd'hui. En s'appuyant sur les travaux de plusieurs chercheurs dans ce domaine, nous sommes proposés de faire une étude du comportement mécanique d'un mortier à base de fibres de Sisal.

Le travail initié dans le cadre de ce mémoire, consiste à la caractérisation expérimentale à l'état frais (affaissement) et à l'état durci (résistance mécanique à la compression et traction par flexion trois points) à l'échelle de mortier. L'intérêt est d'identifier l'effet de cette fibre végétale et son dosage sur ces propriétés.

Pour réaliser ce travail, une recherche bibliographique est nécessaire sur la matrice cimentaire, le mortier fibré et l'importance d'utiliser les fibres végétales dans la matrice cimentaire donc d'un mortier classique. Cette recherche bibliographique est présenté en **chapitre 1** intitulé « *Généralités sur les mortiers* », ce chapitre traite toutes les définitions, compositions et comportement d'un mortier classique. Suivi du **chapitre 2** « *Généralités sur les Fibres végétales* », les différents types de fibres, la nature, classification, nature chimique et comportement sont fidèlement reportés dans cette section de la partie recherche bibliographique. La seconde partie de ce travail concerne l'étude expérimentale illustrée dans le **chapitre 3**, tous les matériaux (ciment, sable et super plastifiant, fibre végétale) utilisés pour la confection des différents spécimens, tenant compte des paramètres: variation de la longueur ainsi que les différents dosages en fibres à incorporés dans la matrice mortier, sont présentés sous forme de tableaux et diagrammes. **Le chapitre 4** présente un protocole d'essai proposé pour la caractérisation mécanique de ce type de mortier, les résultats des essais de compression simple et les essais de flexion trois points sont représentés sous forme de tableaux, histogrammes et courbes et interprétés.

On termine ce travail comme de coutume par une conclusion générale.

Chapitre

I



Généralités sur les mortiers

Introduction

Le mortier est un matériau de construction, qui contient du ciment, de l'eau, du sable, des adjuvants et éventuellement des additions. Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure [1].

L'étude du comportement du mortier est plus complexe que celui de la pâte. Sa théorie est encore peu explorée et nécessite plus d'investigation et de recherches théoriques et expérimentales. Bien que cette étude ait été faite dans un système de mortier, il est raisonnable de penser que les tendances qui ont été observées pourraient être prolongées au béton.[2]

A l'origine, un mortier est un simple mélange entre un liant (en général du ciment) et du sable, gâché avec de l'eau. Néanmoins, au cours des dernières années, les mortiers sont devenus de plus en plus complexes, du fait de l'ajout de multiples adjuvants. Ils font dorénavant intervenir plus d'une dizaine de composants.

Les mortiers sont maintenant présents dans tous les secteurs du BTP. Leur utilisation n'a fait qu'augmenter depuis 1970 pour arriver à une production proche de 4 millions de tonnes en 2011. De plus, la complexité des mortiers entraîne une augmentation constante des mortiers pré-formulés, dits « industriels » ou « prêts à l'emploi », face aux mortiers réalisés sur chantier. L'emploi d'adjuvants permet d'obtenir diverses propriétés à l'état frais ou durci, selon l'application finale et les performances souhaitées. Néanmoins, la formulation des mortiers étant fondée fortement sur l'empirisme, l'emploi et le dosage des adjuvants sont souvent mal maîtrisés [3].

I.1. Historique

Selon les articles et les définitions que l'on va donner aux mortiers (enduits ou systèmes de scellement), ceux-ci ont fait leur apparition il y a entre 10 000 et 3 000 ans avant J.-C. Parmi les premiers exemples de construction imposante utilisant les mortiers, nous pouvons citer la pyramide de Saqqarah, construite par Imhotep, qui est considéré comme l'un des inventeurs des mortiers. Leur utilisation va se généraliser lorsque s'ouvre l'ère de la maçonnerie. Les mêmes types de mortiers seront utilisés des siècles durant et nous n'avons que peu de travaux techniques et scientifiques sur leur mode de fonctionnement jusqu'à la fin du XVIIIe siècle. Les recherches ne commenceront réellement qu'au début du XIXe, notamment avec Louis Vicat et la découverte de l'hydraulicité en 1817 [4].

Nous pouvons également noter une des études les plus complètes sur les mortiers à la chaux réalisée par le Général Treussart qui publia en 1824 un mémoire sur les mortiers hydrauliques et sur les mortiers ordinaires [5]. Ces études, ainsi que celles par exemple de Joseph Aspdin, mèneront aux débuts de la fabrication des ciments modernes avec la première usine de ciments, créée par Dupont et Demarle en 1846 à Boulogne-sur-Mer, qui ouvrira de nouvelles perspectives dans l'utilisation des mortiers.

Jusqu'au début du siècle dernier, les mortiers étaient souvent préparés sur les chantiers par un mélange manuel. Les premiers mortiers industriels, dosés et mélangés en usine, pour faire des enduits décoratifs ont été créés à Paris par Georges Weber et Jean-Baptiste Broutin au tout début du XXe siècle [6].

I.2. La classification des mortiers

I.2.1. Selon leur domaine d'utilisation

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application. Nous pouvons citer les catégories suivantes: [7]

- Mortier de pose.
- Mortier de joints.
- Mortier pour les crépis.
- Mortier pour le sol.
- Mortier pour les stucs.
- Mortier d'injection.
- Mortier de réparation pour pierres.

- Pierres artificielles.
- Support pour les peintures murales.

I.2.2. Selon la nature du liant

On peut classer les mortiers selon la nature du liant en :

I.2.2.1. Les mortiers de ciment

Le ciment portland donne au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, en particulier la résistance initiale, qui est indispensable à une époque où la vitesse de construction est telle que l'on exige qu'un mur puisse supporter une charge importante le lendemain même de sa construction.

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 1/2. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement Imperméables. En revanche, il est davantage sujet au retrait.



Figure .I.1: Mortier de Ciment.

II.2.2.2. Les mortiers de chaux

La chaux est le composant traditionnel du mortier, il possède une plasticité et un pouvoir de rétention d'eau excellent, mais sa résistance mécanique est faible et sa cure est lente. La chaux grasse, obtenue par extinction de la chaux vive en la laissant vieillir, est le produit de qualité que l'on devrait utiliser, mais le vieillissement prend beaucoup de temps et le travail de la chaux grasse est très salissant. C'est pourquoi il est plus pratique d'utiliser la

chaux hydratée sèche. La cure des mortiers de chaux s'effectue lentement par carbonatation sous l'effet du gaz carbonique de l'air; ce processus peut être fortement ralenti par un temps froid et humide. Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment. Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment.



Figure .I.2 : Mortier de chaux

II.2.2.3. Les mortiers bâtards

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée. Les chaux apportent leur plasticité, les ciments apportent la résistance mécanique et un durcissement plus rapide [5].



Figure I.3 : Mortier bâtards

II.2.2.4. Les mortiers fabriqués sur chantier

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu. On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner. Le sable est le plus souvent roulé (nature silico-calcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toute façon ils doivent être propre et de bonne granulométrie. Le sable est généralement dosé en poids (ce qui est préférable), soit en volume (cas des petits chantiers). Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables [5].

II.2.2.5. Mortier industriel

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins :[7]

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- Mortiers d'imperméabilisation.
- Mortier d'isolation thermique.
- Mortier de jointoiement.
- Mortier de ragréage.
- Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment, etc.
- Mortier de réparation.



Figure I.4 : Mortier industriel

I.3. Les composants du mortier

Le mortier est un des matériaux de construction, qui contient du ciment, de l'eau, du sable, des adjuvants et éventuellement des additions. Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure. Les mortiers sont constitués par des mélanges de: [8]

I.3.1. Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique, une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit en réaction au processus d'hydratation. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Le ciment est un constituant de base du béton. Le ciment hydraté constitue un liant entre des gravillons (dans les bétons), entre des blocs (mortiers de pose de blocs béton, mortier-colle de carrelages...). [8]

Le ciment portland donne au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, en particulier la résistance initiale, qui est indispensable à une époque où la vitesse de construction est telle que l'on exige qu'un mur puisse supporter une charge importante le lendemain même de sa construction. Les mortiers de ciment portland manquent de plasticité, ont un faible pouvoir de rétention d'eau et sont difficiles à travailler. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1,3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables.

Dans la plupart des cas, on utilise du ciment Portland avec ou sans constituants secondaires (CPJ CEM I et CPJ-CEM II/A ou B).



Figure I.5: Le ciment.

I.3.2. Le sable

Le sable est un élément essentiel entrant dans la composition du béton. Son utilisation permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire entre le ciment et le gravier pour une meilleure cohésion du béton. Le sable est un matériau granulaire composé de particules (quartz, micas, feldspaths) issues de la dégradation de roches. La dimension des grains de sable est comprise entre 1/16e de millimètre et 2 millimètres. Ils proviennent de deux sources:

- Les granulats Natural : Mer, Oued, Sahara. Ce cas représente la quasi-totalité des constructions.
- Les granulats de concassage : issu du concassage des granulats de carrière, et plus rarement du recyclage des déchets de construction.



Figure I.6: Le sable

I.3.3. L'eau

Le dosage en eau dépend de l'utilisation du mortier et aussi du dosage et de la finesse de la granulométrie du sable. Un mortier trop ferme manque d'homogénéité et il est difficile à utiliser sous forme de couches minces, alors qu'un mortier trop fluide est difficile à appliquer en épaisseur.

I.3.4. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants:[8]

- les plastifiants (réducteurs d'eau);
- les entraîneurs d'air;
- les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs);
- les hydrofuges.

I.4. Domaines d'utilisation des mortiers

En général, les variétés de mortier sont liées directement à leurs domaines d'application qui sont très vastes. Une typologie des mortiers à partir de leurs utilisations permet de citer les catégories suivantes: [9]

-Mortiers de maçonnerie: Mortiers de gros et de petits éléments, utilisés tant pour la maçonnerie extérieure qu'intérieure, au contact du sol et/ou de l'eau, y compris le jointoiement. [9]



Figure I. 7 : Pose de mortier de maçonnerie.

-Mortiers de pose: Mortiers pour la fixation et la liaison de petits éléments de revêtements de sol et de parois (carrelage). [9]

- **les chapes :** Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition : on y incorpore alors souvent des produits spécifiques. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol. Les chapes doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels). Adhérente ou flottante, la chape peut également avoir une fonction thermique ou acoustique [9]



Figure I. 8 : Les chapes fluides et chape ciment.

-Mortiers d'enduit: Enduits pour parois intérieures et extérieures de ses liants. Exemples : mortier de ciment chaux, mortier de chaux plâtre. [9]



Figure I. 9 : Enduits isolants et enduits de façade.

Ils peuvent aussi être utilisés en tant que mortiers d'injection ou de réparation des éléments. [9]

I.5. Les caractéristiques principales des mortiers

Pour les mortiers traditionnels réalisés sur chantier, les performances requises sont réputées satisfaites moyennant le respect des dosages en liants donnés dans le DTR Maçonnerie ou dans le DTU 20.1; quant aux mortiers industriels, ils font l'objet des spécifications de fabrication précises.

Les principales caractéristiques visées sont les suivantes :

- Sur la poudre : masse volumique, granulométrie ;
- Sur la pâte : rétention d'eau, durée pratique d'utilisation, temps d'ajustage, temps de prise, etc. ;
- Sur le produit durci : résistance en compression, résistance en traction par flexion, module d'élasticité, variations dimensionnelles et pondérales.

Les caractéristiques essentielles des mortiers en général sont les suivantes :

I.5.1. La maniabilité

Suivant les emplois, les propriétés requises peuvent être différentes mais dans tous les cas, la maniabilité du mortier conditionne sa mise en œuvre.

La maniabilité est apportée par les éléments fins (liants et fillers) et par les adjuvants. Cela explique le surdosage fréquent des mortiers traditionnels composés uniquement de sable et de ciment.

I.5. 2. La perméabilité

L'aptitude des mortiers à se laisser traverser par les liquides dans des conditions de pression et de viscosité du liquide données. La perméabilité diminue en augmentant la compacité, elle n'est obtenue qu'avec un dosage en liant suffisant pour l'enrobage de tous les grains internes.

I.5. 3. Les conditions d'hydratation

Un autre problème, généralement rencontré lors de la mise en œuvre des mortiers, est celui de l'hydratation correcte du liant. Les liants hydrauliques ont besoin d'eau pour durcir normalement. Or les mortiers sont souvent appliqués en couche mince et risquent une déshydratation prématurée due à l'absorption des matériaux avec lesquels ils sont en contact ou à l'évaporation. Ce risque amène à utiliser des produits spécifiques (formulations contenant des rétenteurs d'eau) et à prendre des précautions particulières lors de leur emploi par temps chaud (humidification des supports et ré-humidification ultérieure).

I.5. 4. La déformabilité

Aussi dans les travaux de liaison comme le revêtement, le mortier est utilisé en association avec d'autres matériaux et doit présenter une déformabilité suffisante pour absorber les variations dimensionnelles admissibles des supports. Dans les maçonneries, c'est le mortier de montage qui, par son adaptation, permet une bonne répartition des contraintes dans les éléments.

I.5. 5. Le retrait

Les contraintes qui résultent du retrait peuvent être absorbées par le développement de microfissures internes non préjudiciables au comportement ultérieur du mortier. Toutefois, dans les travaux de surface, elles peuvent également conduire à des fissurations d'autant plus préjudiciables que le mortier est destiné à assurer la protection de la maçonnerie vis-à-vis de la pluie. Il y a lieu de noter que ces contraintes dépendent non

seulement du retrait mais également des caractéristiques mécaniques du mortier et en particulier de son module d'élasticité.

I.5. 6. L'adhérence

L'adhérence du mortier aux matériaux associés est, dans un grand nombre de cas, un critère primordial de bon comportement.

I.5.7. La durabilité

Dans tous les emplois extérieurs, la résistance aux intempéries conditionne la durabilité du mortier (capillarité, perméabilité à l'eau et à la vapeur, résistance au gel). En outre, pour les travaux de surface, le mortier doit présenter une résistance aux chocs et à l'abrasion adaptée au niveau de sollicitation prévu (sol, mur, exposition, ...).

I.6. Comportement des mortiers

I.6. 1. Comportement mécanique

I.6.1.1. Comportement en traction

Il consiste à appliquer un effort de traction sur éprouvette de forme normalisée jusqu'à la rupture donnant lieu, après traitement, à une courbe contrainte/déformation. Cette courbe décrit la loi de comportement du matériau testé. On peut alors tout de suite connaître le type de rupture du matériau. Les trois formes de courbe de la figure ci-dessous montrent les types de rupture.

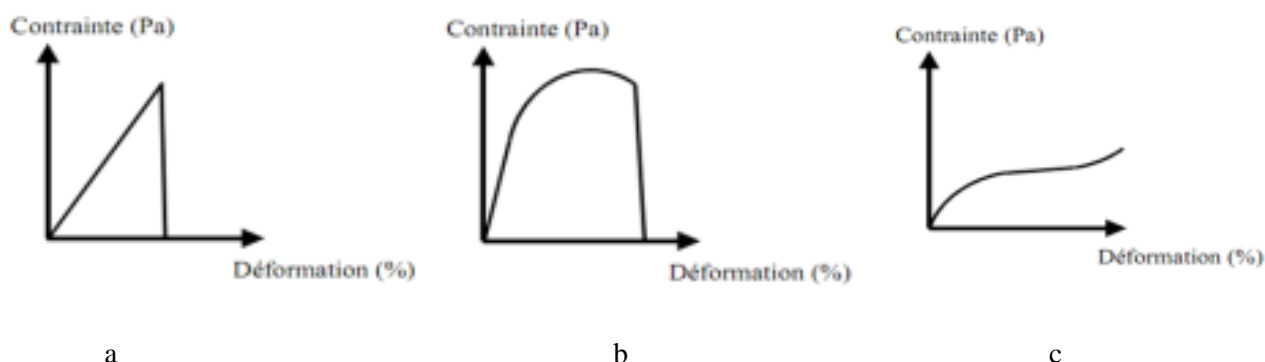


Figure I.10 : Courbes des types de comportement d'un matériau sollicité en traction uniaxiale.

a- comportement fragile (fonte, verre), b- comportement ductile (acier doux), c- comportement élastique non linéaire (élastomère).

Dans le premier cas, la rupture survient dans la zone élastique linéaire du matériau. Des matériaux comme la fonte, l'acier fortement allié, le verre, la céramique présente ce type de

comportement. Cette zone est décrite par la loi de Hooke en fonction de la contrainte σ , du module d'élasticité E et de la déformation ξ : $\sigma = E \times \xi$

Dans le second cas, le matériau présente d'abord un comportement élastique linéaire, la rupture survient après une zone de transition marquée par une déformation plastique irréversible du matériau délimitée par la limite élastique. C'est le cas par exemple des aciers faiblement alliés, des aciers inoxydables. Dans le dernier cas, la déformation élastique n'est pas proportionnelle à la contrainte, c'est un comportement élastique non linéaire. Ce comportement caractérise par exemple l'élastomère et certains polymères. La courbe de traction (contrainte/déformation) permet aussi de déterminer quatre grandeurs caractéristiques :

- le module d'élasticité E qui correspond à la pente de la zone élastique de la courbe,
- la limite élastique R_e qui correspond à la contrainte à partir de laquelle se produit la déformation plastique,
- la résistance à la rupture ou résistance à la traction R_m qui correspond à la contrainte nominale maximale supportée par l'éprouvette,
- la déformation à la rupture r qui correspond à la déformation nominale à la rupture en traction de l'éprouvette. C'est une grandeur caractéristique de la ductilité, elle se calcule en fonction de la longueur initiale l_0 de l'éprouvette et la longueur à la rupture l par la relation suivante: [10]

$$\xi_r = 100 \times (l - l_0) / l_0$$

I.6.1.2. Comportement en compression

L'essai de compression consiste à comprimer l'éprouvette avec une force croissante jusqu'à l'apparition de fissures afin de déterminer sa résistance à la compression. [11]

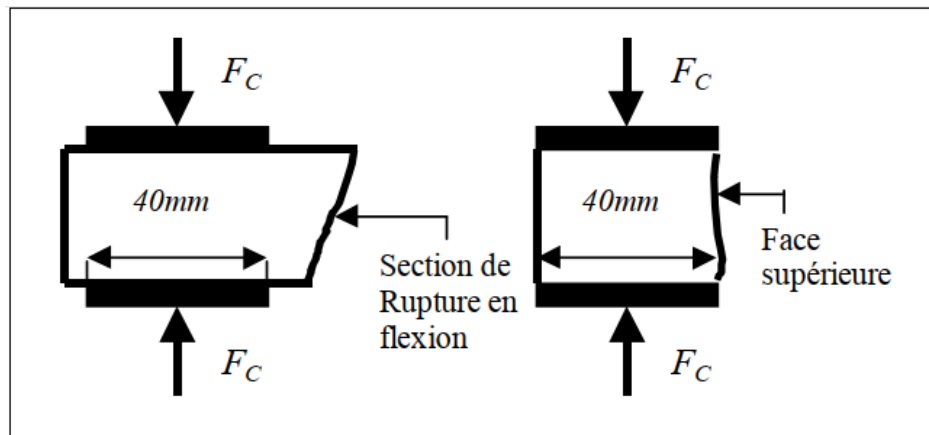


Figure I.11 : Schéma statique de l'essai de compression.

La résistance à la compression est calculée selon:

$$R_c = F_{c,max} / b * h$$

Avec :

- R_c : la résistance en compression du mortier (MPa) ;
- F_c : max la charge maximale en compression provoquant la rupture (N);
- b, h : respectivement la largeur et la hauteur de l'éprouvette

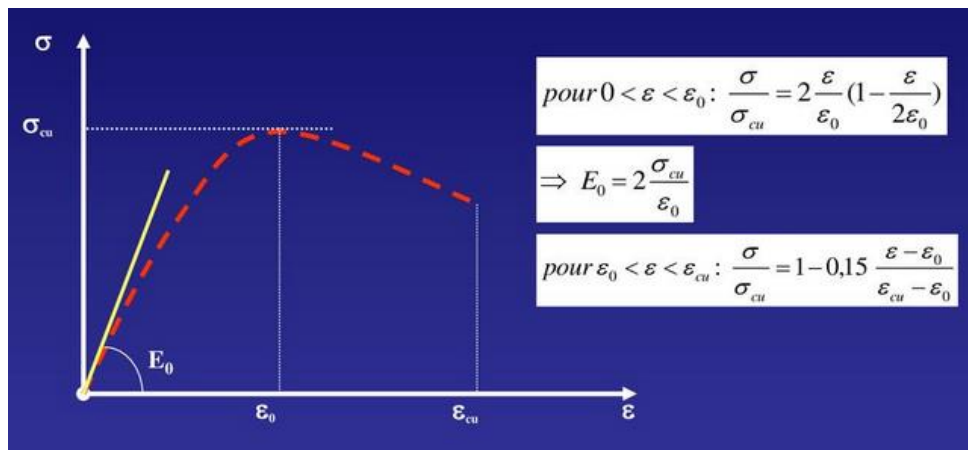


Figure I.12 : Courbe contraintes-déformations dans le béton.

I.6.1. 3. Comportement en flexion par traction

Les essais les plus courants sont des essais de traction par flexion, ils s'effectuent en général sur des éprouvette prismatique d'élanement 4, reposant sur deux appuis:

-soit sous charge concentrée unique appliquée au milieu de l'éprouvette (moment maximal au centre)

-soit sous deux charges concentrées, symétrique, égales, appliquées au tiers de la portée (moment constant entre les deux charge). [11]

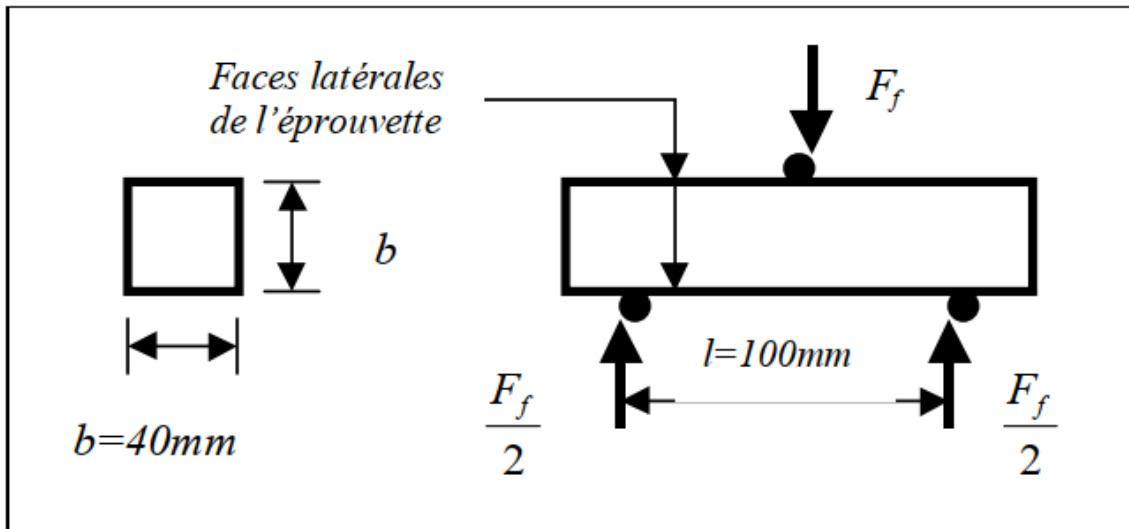


Figure I.13 : Schéma statique de l'essai de flexion.

➤ Essai de flexion 3 points

L'essai de flexion 3 points permet également de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau. Une barrette du matériau à tester est placée sur deux appuis et l'on applique au centre de la barrette une force croissante jusqu'à rupture. [12]

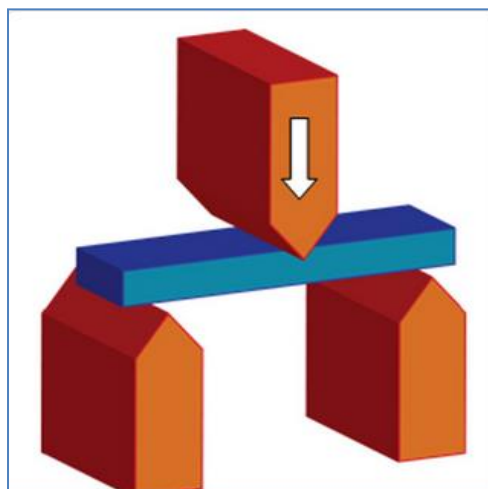


Figure I.14 : Configuration de l'essai de flexion 3 points

La résistance à la flexion est calculée à partir de:

$$R_f = \frac{3F_{f \max} L}{2b * h^2}$$

Avec :

- R_f : la résistance en flexion du mortier (MPa) ;
- $F_{f, \max}$: la charge maximale en flexion provoquant la rupture (N);
- L : la distance entre les appuis (mm) ;
- b, h : respectivement la largeur et la hauteur de l'éprouvette

I.6. 2. Le comportement thermique :

La conductivité thermique λ est le flux thermique par mètre carré, elle traverse un matériau d'un mètre d'épaisseur et la différence de température entre les deux côtés est de 1degré. En agitant les molécules qui composent le matériau, cette propagation d'énergie se produit dans le solide. Par conséquent, la conductivité thermique λ est une quantité inhérente au matériau, qui ne dépend que de sa composition et de sa microstructure et sa porosité.

Le deuxième élément qui peut caractériser les propriétés thermiques des matériaux est la chaleur massique ou chaleur spécifique C , en J/kg.K. Cette quantité représente la chaleur nécessaire pour augmenter la température de l'unité de masse de 1°C. Plus la chaleur spécifique est élevée, plus le matériau a besoin d'énergie pour élever la température. Par conséquent, il sera moins sensible aux changements de température dans l'environnement extérieur. Un coefficient C plus élevé convertira une forte inertie thermique, donc lorsque les conditions externes changent, la tendance au changement du matériau est faible. Par conséquent, il agit comme un régulateur de température à l'intérieur de la structure (Chi et al, 2003). Enfin, la diffusivité a (J/m.K) est définie par la conductivité λ et la chaleur spécifique C . Cette quantité caractérise la vitesse à laquelle la chaleur se propage par conduction dans le corps. Plus la valeur de a est faible, plus la chaleur met du temps à traverser le matériau. [13]

$$a = \lambda / \rho C$$

I.6. 3. Le comportement acoustique

L'acoustique est une étude du son. Le son est une vibration (onde) mécanique qui va créer une différence de pression appelée pression acoustique au niveau du tympan pour créer une sensation sonore. Étudier l'acoustique permet de contribuer au confort

de l'être humain soit en disposant des protections telles que les matériaux isolants, soit en effectuant des corrections pour améliorer la qualité de l'écoute. :[14]

- Grande capacité d'isolation thermique de la cloison par l'extérieur
- Résout les ponts thermiques
- Apporte des améliorations acoustiques
- Ouvrage neuf et rénovation
- Composition minérale
- Imperméable
- Application facile
- Projetable

I.7. Avantage et inconvénient de l'utilisation des mortiers

I.7. 1. Les avantages

Les mortiers permettent plusieurs avantages, dont nous pouvons citer : [15]

- Assure la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est -à- dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique, ainsi, assurer une meilleure résistance à l'abrasion.
- Protège les constructions contre l'humidité due aux intempéries.
- Constitue des chapes de protection contre l'usure, par exemple pour les dallages en béton
- Consolide certains sols de fondations sous forme d'injections
- Permet plus de résistance face aux chocs, aux cycles gel-dégel, aux fissures de retrait plastique,

I.7.2. Les inconvénients

Bien que son utilisation apporte plusieurs gains, le mortier peut conduire à un poids supplémentaire, dû à son poids propre élevé. Aussi, il présente une faible isolation thermique

(elle peut être facilement améliorée en ajoutant une couche de produit isolant ou en utilisant des bétons légers spéciaux). [15]

I.8. Conclusion

Les mortiers sont composés de: ciment, sable, eau et adjuvant, se différencient par leur composition et leur consistances d'où la différence du domaine d'utilisation. Dans cette partie, on a présenté les différents types de mortiers du point de vue caractéristiques mécanique en compression et en flexion ainsi que le comportement en retrait, en gonflement et temps de prise.

Chapitre

II



Généralités sur les Fibres végétales

Introduction

L'introduction des fibres naturelles dans des matrices cimentaire peut apporter des avantages notoires. Les matériaux renforcés par des fibres végétales sont en cours de développement et leurs applications sont encore limitées mais ils sont amenés à jouer un rôle dans le domaine d'industrie future, notamment dans le domaine de la construction. Les fibres sont caractérisées par une longueur au moins trois fois supérieure à leur diamètre. Elles peuvent être classées selon plusieurs critères, leur nature chimique, leur longueur, leur origine...

II.1. Définition d'une fibre

L'intérêt pour le développement durable qu'ont suscité plusieurs études a conduit à réfléchir à l'élaboration de nouveaux matériaux et dispositifs constructifs moins émetteurs de CO₂, moins consommateurs de ressources non renouvelables et aussi largement recyclables.

L'idée du renforcement par des fibres végétales ne date pas d'aujourd'hui, dans un contexte de matrice à liant hydraulique, a déjà donné lieu à de nombreuses avancées pour obtenir un composite peu onéreux, moins émetteur de CO₂, aux propriétés thermiques et sonores intéressante et au comportement mécanique acceptable : bétons de chanvre, de lin, de sisal...

Nous allons nous intéresser ici spécifiquement à l'interaction fibres végétales / matrice liante. En effet, les recherches sur les composites cimentaires à fibres végétales qui portent principalement sur les résistances mécaniques de ces composites ont localisé à l'interface fibre/matrice les réactions clés de ce comportement mécanique. Le caractère général de ce tour d'horizon nous amène ici à parler indifféremment des composites fibres/ciment Portland ou fibres/chaux hydraulique, additionnés ou non de pouzzolanes, les fibres en question étant toujours du chanvre. L'ensemble des points ici abordés sont traités en détail dans les documents de la bibliographie fournie en fin de l'article.

II.2. Rôle des fibres

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer ou remplacer l'action des armatures traditionnelles en s'opposant à la propagation des microfissures. Elles peuvent également dans certaines applications remplacer les armatures passives. Selon les fibres utilisées (forme et nature) et les ouvrages auxquels elles sont incorporées, ce rôle se traduit par des améliorations relatives à :

- la cohésion du béton frais.
- la déformabilité avant rupture.
- la résistance à la traction par flexion.
- la ductilité et la résistance post fissuration.
- la résistance aux chocs.
- la résistance à la fatigue.
- la résistance à l'usure.
- la résistance mécanique du béton aux jeunes âges.
- la réduction des conséquences du retrait par effet de couture des microfissures.
- la tenue au feu.
- la résistance à l'abrasion.

II.3. Fibres naturelles [23]

On peut subdiviser les fibres naturelles en trois grands groupes selon leur origine, les fibres végétales qui comprennent :

- les fibres provenant des poils séminaux de gaines (coton kapok).
- les fibres libériennes extraites de tiges de plantes (lin, chanvre, jute, ramie).

- les fibres dures extraites de feuilles (sisal), de troncs (chanvre de manille) d'enveloppes de fruits (noix de coco).
- les fibres animales qui proviennent des poils, telle que la toison animale, et sécrétions telle que la soie.
- les fibres minérales telles que le basalte.

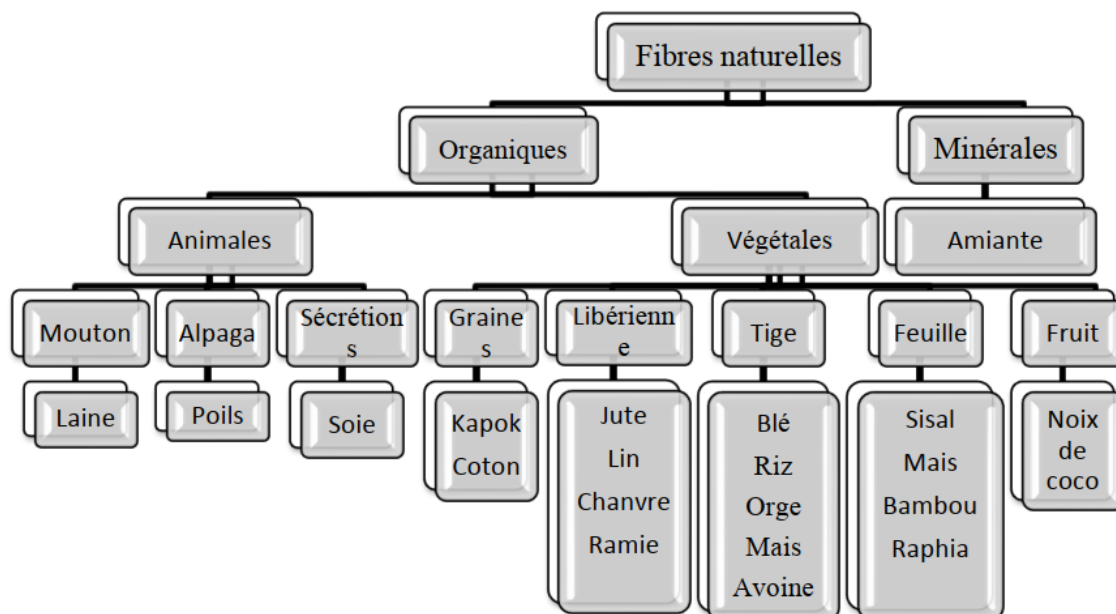


Figure. II.1: Classification des fibres naturelles.[23]

II.3.1. Fibres végétales

II.3.1.1. Définition de la fibre végétale

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. En proportion relativement faible d'extractibles non azoté, de matière protéique brute, de lipide et de matières minérales. Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante.

II.3.1.2. Classification des fibres végétales

Il existe plusieurs critères de différenciation des fibres :

- Suivant l'organe de la plante dont elles sont issues, les fibres végétales peuvent être classées en fibres de tiges (Kénafe, jute, lin, ramie), et de feuilles (Sisal, abaca, paille de graminée) [17]
- Suivant leur teneur en (cellulose et hémicellulose) et en lignine, on peut distinguer les fibres ligneuses (dures et rigide provenant de matériels ligneux tels que le bois d'œuvre, les résidus de l'industrie du bois et les fibres non ligneuses (douces, souples, issues de végétaux non ligneux souvent annuels relativement moins riches en lignine tels que le kénafe, le chanvre, le sisal, le jute et le lin).[16]
- Suivant leur longueur, les fibres végétales peuvent être groupées en deux catégories: fibres longues, dites libérienne, provenant des tiges et d'écorce de tiges de plantes annuelles. Elles sont douces, tandis que les fibres longues issues de feuilles ou de troncs d'arbre sont plus dures et plus rigides à cause de leur richesse en lignine [17]

II.3.1.3. Structure et morphologie des fibres lignocellulosiques

➤ Morphologie de la fibre végétale

Sur le plan morphologique, la fibre végétale présente une variabilité très importante en fonction de son origine. En effet, les dimensions des fibres végétales dépendent de l'état de maturité et aussi des conditions environnementales de croissance de la plante. La variabilité du diamètre peut être très importante le long de la même fibre végétale [18]

La fibre végétale se caractérise aussi par la variabilité de l'épaisseur de sa paroi cellulaire qui découle de celle de la porosité des fibrilles [19]. La morphologie des fibres végétales peut constituer une donnée importante pour bien appréhender les transferts de contrainte aux interfaces fibre-matrice. D'autres fibres ont des morphologies, encore plus tourmentées. La géométrie des fibres végétales est donc un problème important et difficilement surmontable pour ce qui concerne la micromécanique des composites renforcée par de telles fibres [20]

Tableau II.1: Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales.

Fibres	Longueur de la fibre (mm)	Diamètre de la fibre (µm)	Angle micro fibrillaire (°)	Référence
Cotton	35	10-45	-	[40]
Lin	4-77	5-76	10	[30]
Chanvre	5-55	10-51	6.2	[41]
Kénaf	2.5-4.5	14-33	-	[42]
Jute	2.5	5-25	8	[42]
Sisal	900	8-50	20	[40]
Rami	900-1200	20-80	7.5	[40]
Noix de coco	03-1	12-24	45	[30]

➤ Structure des fibres lignocellulosiques

La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de micro fibrille cellulosiques en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d'une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaison hydrogène et covalentes à la lignine. La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et disposée en couche superposée dans le sens radiale. Ces différentes couches qui forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l'espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches de micro fibrilles. Les micros fibrilles décrivent par rapport à l'axe de la fibre, un angle micro-fibrillaire dont la valeur varie d'une espèce à l'autre.

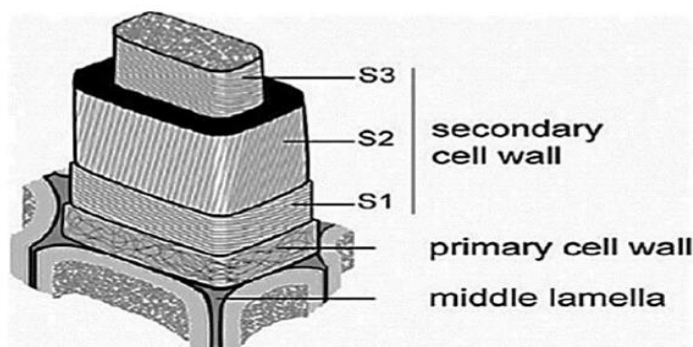


Figure. II.2: Structure du bois (observations multi échelles).

L'orientation des micro fibrilles par rapport à l'axe de la cellule joue un grand rôle dans les propriétés mécaniques des parois des fibres, plus que l'angle des micros fibrilles augmente, le module de Young (une mesure de la rigidité) décroît, tandis que l'extensibilité des parois augment [LAU 06].

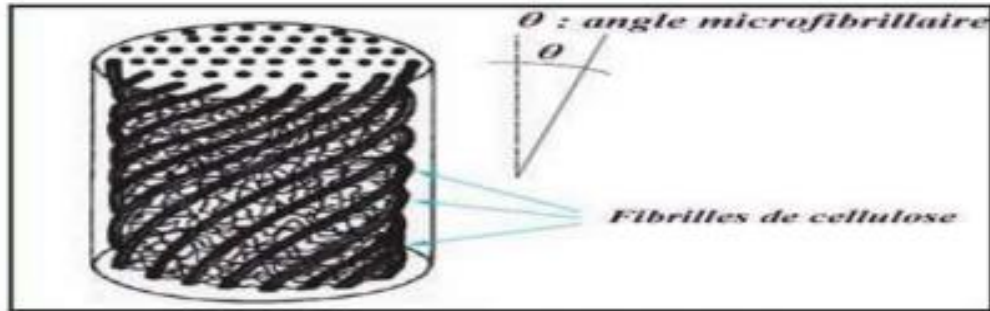


Figure. II. 3: Classification Schématisation des fibres végétales

II.4. Classification des fibres végétales

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance. A savoir : les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface. [21]

➤ 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 fibres de tiges

Les fibres de tige sont obtenues dans les tiges des plantes dicotylédones. Elles ont pour rôle de donner une bonne rigidité. Ces fibres sont commercialisées sous forme de paquet de cor et en toute longueur. Exemple : fibres de jute, de lin, de ramie, de kenaf, et de chanvre.

➤ 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, ont montré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement des ciments.

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

II.5. Caractéristique physiques et mécaniques des fibres végétales

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre sa densité et son teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau. Et elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité. A titre d'exemple sur le tableau II.2 et II.3 : [21]

Tableau II.2. Les caractéristiques physiques des fibres végétales les plus utilisées.

Fibre	Diamètre (mm)	Diamètre (mm)	Teneur en eau à l'état naturel (%)	Absorption d'eau après 5 min (%)	Absorption d'eau à la saturation (%)
Sisal	0.08-0.30	1.5 1.37 0.75- 1.07	10.97-14.44	89.30 67-92	92 190-250
Noix de coco	0.11-0.53	1.2 1.17 0.67-1.00	11.44-15.85	43.20 22-28	80.40 85-135

Tableau II.3. Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales.

Fibres	Densité (g/cm ³)	Allongement à la rupture (%)	Résistance à la traction (MPa)	Module de Young (GPa)
Cotton	1.5-1.6	7.0-8.0	587-597	5.5-12.6
Jute	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
Lin	1.5	2.7-3.2	345-1035	27.6
Chanvre	--	1.6	690	--
Ramie	--	3.6-3.8	400-938	61.4-128
Sisal	--	2.6	278	--
	1.37	5.2	363	15.2
	0.75-1.07	2.08-4.08	577.50	10.94-26.70
	1.5	2.0-2.5	511-635	9.4-22.0
Noix de Coco	1.2	30.0	175	4.0-6.0
	1.17	37.7	107	2.8
	0.67-1.00	13.7-41.0	174	2.5-4.5
	1.33	--	72	2.0
Palmier	0.51-1.08	7.5-17.4	170-290	2.1-5.25
Dattier				

II.6. Caractéristiques chimiques des fibres végétales

Les fibres végétales sont caractérisées par leur composition chimique qui influe énormément sur leur durabilité et spécialement dans les milieux alcalins. La composition chimique des fibres végétales est formée de trois principaux constituants à savoir: la cellulose, l'hémicellulose et la lignine [21]

➤ La Cellulose

C'est la principale composante des fibres végétales. C'est un polymère naturel du premier plan. Généralement, les fibres végétales sont constituées par une chaîne de fibres en cellulose.

➤ Hémicellulose

L'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres, est un polysaccharide à chaîne courte ramifiée et repliée sur elle même. C'est le constituant

responsable de l'élasticité des fibres et qui permet aux parois de s'allonger pendant la croissance.

➤ Lignine

La lignine constitue la colle qui lie les fibres végétales entre elles ainsi que leurs parois. C'est un polymère tridimensionnel provenant de la copolymérisation de trois alcools phénylpropénoïques

Tableau II.4: Composition chimique de quelques fibres végétales.

Fibres	Composition (%)			
	Cendre	Cellulose	Hémicellulose	Lignine
Noix de coco	1.44	32-43	0.15-0.25	40-45
Sisal	1.13	66-72	12.0	10-14
Jute	7.6	63	--	--
Palmier dattier	1.2	41-45	6-10	30-40

II.7. Domaine d'utilisation des fibres végétales

Les fibres de toute nature sont très employées dans différents ouvrages dans le but d'améliorer leurs performances mécaniques et physiques. 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. 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.[21]

II.8. Comportement du mortier à base de fibres végétales

II.8.1. Comportement mécaniques :

Le comportement de ce matériau composite est assez compliqué et difficile à cerner parce qu'il dépend de plusieurs facteurs dépendant eux-mêmes de plusieurs variables tels que [22].

- la nature de fibre (acier, verre, polymère ou végétale)

-l'élanement des fibres.

- la quantité d'incorporation des fibres.

II.8.1.1. Comportement en Traction des Fibres :

Le comportement en traction des fibres dépend de la nature de celle-ci. Ainsi, si le comportement en traction de l'acier est défini avec précision (élasto-plastique écrouissable) du fait que l'acier est un matériau homogène, le comportement des fibres végétales ne l'est pas parce qu'il dépend de plusieurs paramètres très variables tels que la composition chimique, la teneur en eau et l'élanement (L/d). La figure suivante présente quelques courbes expérimentales (contrainte - déformation) données par SWAMY [11]. Selon ces courbes nous constatons que les fibres testées (Canne de sucre, Jute ou Noix de coco) ont un comportement presque élastique et linéaire au démarrage de l'essai ensuite un comportement plastique jusqu'à la rupture.[22]

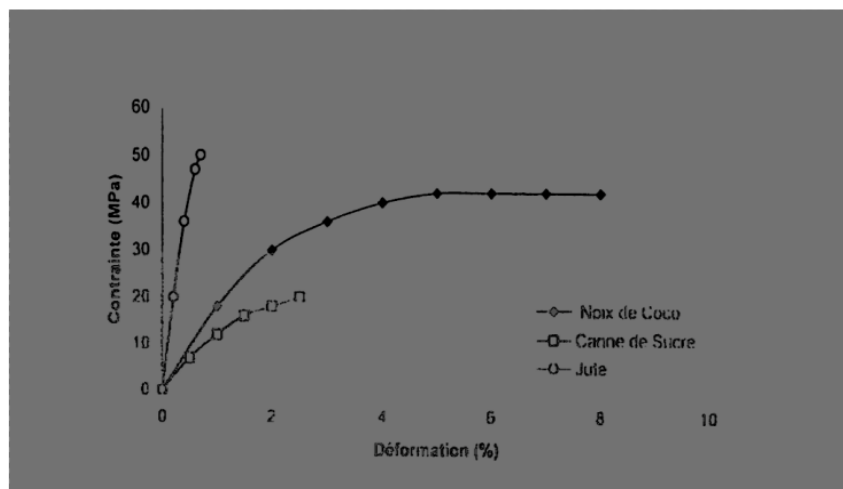


Figure. II. 4: Courbe contrainte-déformation de quelques fibres végétales.

II.8.1.2. Comportement compression et flexion

Les matrices minérales se caractérisent par une rupture de type fragile malgré leurs bonnes tenues à la compression, La résistance en flexion de ces matrices fragiles, tels que les mortiers, le plâtre ou les pâtes de ciment, peut être considérablement améliorée grâce aux propriétés mécaniques des fibres (résistance en traction élevée). De plus, une modification notable dans le comportement du matériau est observée après la première fissuration de la matrice : passage d'un comportement fragile à un comportement semi fragile ou légèrement contrôlé [SAV 00, AND 79].

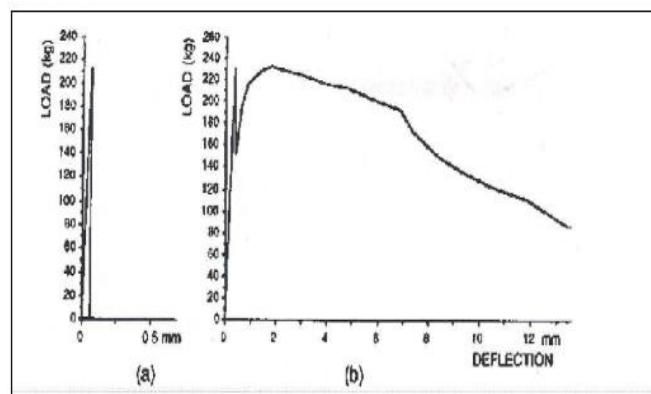


Figure. II. 5: Comportement en flexion trois points :
(a) gypse pur (b) composite gypse-fibre de sisal. [BOU 02]

Le rôle principal des fibres est de mieux contrôler la fissuration du béton en limitant l'ouverture des fissures et de transformer le comportement fragile du béton en un comportement ductile. Le comportement du béton en flexion est conditionné par la fissuration de la zone tendue. En cela, la présence des fibres peut jouer un rôle stabilisateur après rupture de la matrice de béton. En effet, alors qu'un béton non - fibré a une rupture fragile qui se produit dès l'apparition de la première fissure, les bétons fibrés continuent de reprendre des efforts même après que la charge maximale soit atteinte.

L'amélioration du comportement post - fissuration des bétons dépend de nombreux paramètres tels que la nature des fibres, les propriétés mécaniques et la morphologie de celles - ci, le taux et la longueur des fibres, etc. Chaque type de fibres à une utilisation bien spécifique suivant les propriétés recherchées pour le composite.

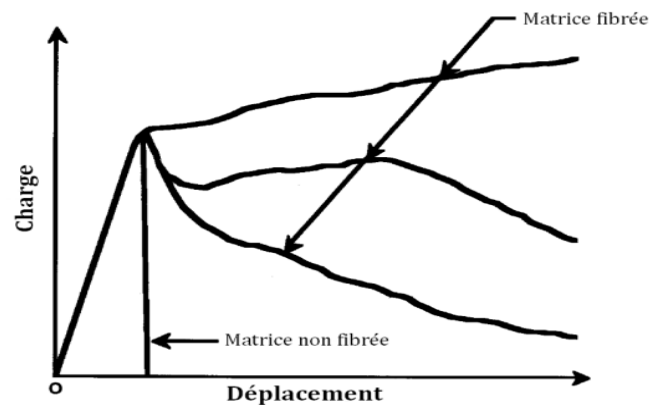


Figure. II. 6: Courbes force-déplacement typiques en flexion d'un matériau cimentaire non-fibré et de matrices cimentaires renforcées par des fibres (ACI, 1996)

II.8.1.3. Propriétés acoustiques

L'acoustique est une étude du son. Le son est une vibration (onde) mécanique qui va créer une différence de pression appelée pression acoustique au niveau du tympan pour créer une sensation sonore. Étudier l'acoustique d'un local nous permet de contribuer au confort de l'être humain soit en disposant des protections telles que les matériaux isolants au sein du local soit en effectuant des corrections pour améliorer la qualité de l'écoute. Les performances acoustiques du béton de chanvre sont fortement liées à sa porosité qui varie entre 65 et 80 % avec un coefficient d'absorption qui dépasse 0,5 pour une large gamme de fréquence. Ces propriétés peuvent varier en fonction des caractéristiques du béton telles que la granulométrie de la chènevotte, le type de liant, le ratio chanvre/liant et la quantité d'eau.

Les travaux de plusieurs chercheurs, ont permis de mettre en évidence que plus les particules de chènevotte sont fines, plus le coefficient d'absorption et l'indice d'affaiblissement sont élevés. De même, l'augmentation de la densité de la chènevotte implique un meilleur arrangement granulaire qui induit une meilleure absorption acoustique aux basses fréquences et améliore l'indice d'affaiblissement. Il est montré aussi que les matériaux issus de fibres végétales ont des propriétés acoustiques similaires à celles des matériaux synthétiques traditionnellement utilisés. Le coefficient d'absorption acoustique des fibres de cellulose est plus prometteur comparé à la laine minérale ou le polystyrène. Pour effectuer une correction acoustique d'un local, les fibres de celluloses mouillées sont directement pulvérisées sur les murs ou le plafond. Ces fibres proviennent de journaux recyclés principalement auxquels on ajoute des produits retardateurs de flamme et biocides. Le béton de chanvre présente des bonnes performances en absorption acoustique avec un

coefficient d'absorption compris entre 0,5 et 0,9 Ces performances sont difficiles à modéliser à cause d'une porosité multi échelles du matériau [14]

II.8.1.4. Comportement Thermique

Des analyses thermogravimétriques (ATG) ont permis de déterminer le comportement thermique des fibres de lin. Le comportement thermique de la fibre de lin est similaire à celui d'autres fibres végétales, comme le chanvre par exemple (Magniont, 2011).

D'autres études montrent des essais de traction sur des fibres de lin exposées à différentes températures sous air, pour simuler les effets d'un traitement thermique (Gourier *et al.*, 2014). Il est montré qu'entre 20 et 190°C, la contrainte à rupture et le module d'Young sont sensiblement constants. En effet, cette plage de température correspond essentiellement à la déshydratation de la fibre. A 250°C, les valeurs de la contrainte à rupture et du module d'élasticité sont fortement affectées. Ceci semble logique puisqu'à 250°C, la décomposition d'une partie des hémicelluloses et de la cellulose a commencé, ce qui se traduit par une diminution importante des performances mécaniques.

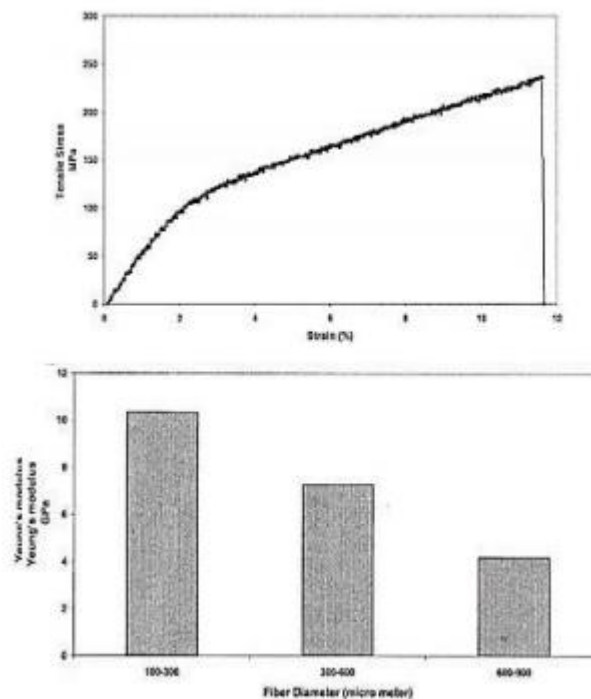
II.9. Quelques travaux antérieurs

A titre d'exemple on cite quelques travaux qui sont en relation avec notre étude:[24]

- Dans le travail de Al-Kaabi et al [14], les fibres naturelles extraites du palmier dattier (mat naturel) ont été utilisées comme renfort pour des composites à matrice polymère. Des échantillons de polyester ont été soumis à de divers types de tests mécaniques (flexion 3points, essai d'impact "Charpy") et physiques pour avoir l'effet de la longueur et l'état de la surface des fibres sur les propriétés mécaniques. Les résultats obtenus montrent que ces fibres peuvent donner des propriétés raisonnables et pourraient être utilisées pour des applications à faible coût qui exigent peu de force moyenne.
- Taha et al [12], ont présenté une étude expérimentale qui permet de déterminer les propriétés mécaniques des fibres extraites de la tige spadice de palmier dattier en Egypte. Ces tiges sont ensuite divisées en fibres longues de 50 cm avant de subir un traitement chimique par l'hydroxyde de sodium (NaOH) avec des concentrations de 2 et 5% avec des durées de traitement de 2, 4, 6 et 24 heures à une température de 23°C. Les meilleurs résultats sont obtenus avec une solution de NaOH de concentration de

2% pendant une durée de traitement de 2 heures. Les valeurs de la contrainte à la rupture des fibres traitées et non traitées sont respectivement de l'ordre de 400 et 600 MPa, ce qui représente une augmentation de 50%.

- Al-Khanbashi et al. [11] ont présenté une étude expérimentale des fibres de palmier dattier sollicitées en traction, les fibres ont été traitées avec une solution de NaOH ayant une concentration de 5% pendant les durées de (1, 2 et 3h) à une température de 100°C. Les résultats de ces travaux montrent que la résistance moyenne à la rupture est égale à 275MPa. Le traitement avec une concentration de 5% de NaOH à 100°C pour une durée de 2h a amélioré la contrainte à la rupture de 45%. Les résultats de ces travaux montrent que les fibres de palmier dattier sont comparables à d'autres fibres naturelles utilisées comme renfort à matrice polymère. Elles sont principalement constituées de 46% de cellulose, 20% de lignine et 18% de hémicelluloses.



➤ **Figure. II. 7:** (a) courbe moyenne contrainte-déformation des DPF
(b) Le module d'Young du DPF en fonction du diamètre de la fibre.[24]

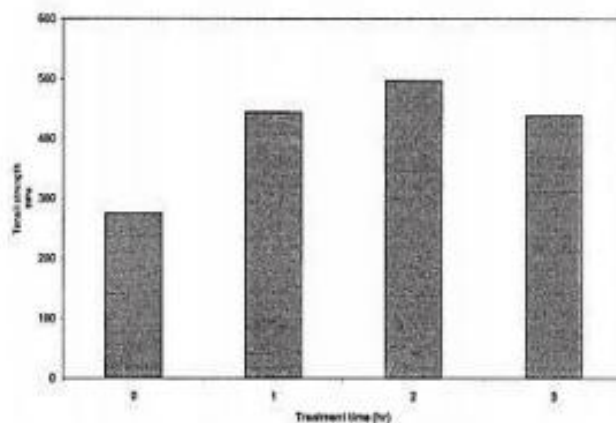


Figure. II. 8: Effet de la durée de traitement de la soude sur la résistance à la traction de DPF (5% de solution de NaOH à 100 °C).[24]

- **Alawar et al. [13]** ont déterminé les propriétés mécaniques, des fibres de surface du tronc de palmier dattier, avant et après le traitement chimique avec différentes concentrations de NaOH soit : 0,5%, 1%, 1,5%, 2,5% et 5% pendant une durée d'une heure à une température de 100°C. Les résultats obtenus sont très positifs et montrent bien l'amélioration de la résistance à la traction des fibres du palmier dattier traitées chimiquement pour différentes concentrations de NaOH.

La résistance maximale en traction a été obtenue pour un traitement avec une concentration de 1% de NaOH où la contrainte maximale obtenue est de l'ordre de 4 fois plus importante que dans le cas des fibres non traitées mais avec une dispersion beaucoup plus importante.

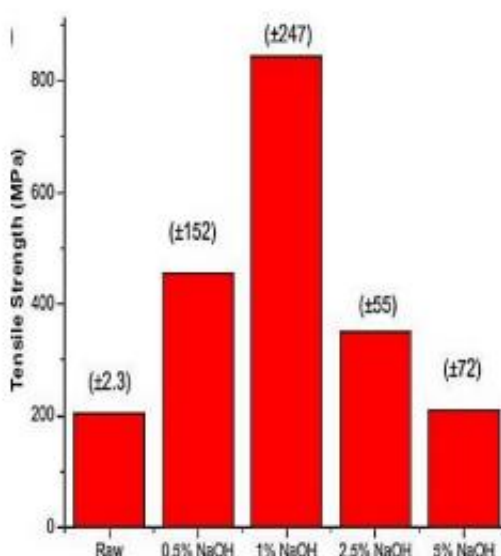


Figure. II. 9: Propriétés mécaniques pour certaines fibres végétales.[24]

- **Agoudjil et al. [1]**, présentent les résultats d'une étude expérimentale de trois variétés de bois de palmier dattier. Cette étude a pour objectif la caractérisation de différents échantillons de parties renouvelables de bois de palmier provenant de l'oasis de Biskra (Algérie), en vue de l'utiliser dans des matériaux isolants. Les résultats de ce travail expérimental ont montré que les parties renouvelables du palmier dattier (pétiole et grappe) constituent un bon isolant thermique présentant une faible masse volumique
- **Djoudi et al.** ont étudié le renforcement de plâtre avec les fibres végétales du palmier (dattier). Les résultats montrent que l'augmentation de la fraction massique des fibres du palmier incorporées fait accroître la ductilité du matériau, les meilleurs résultats sont obtenus pour 1,5% en masse de fibres. Par contre la densité décroît à cause de l'augmentation du volume de vide créé par l'ajout des fibres dans la matrice.

Les fibres végétales changent complètement le comportement rhéologique du matériau et augmentent considérablement sa résistance à la flexion et le rend moins fragile en améliorant son seuil de fissuration.

- **Bahloul et al.** ont examinée l'analyse des propriétés mécaniques et physiques des mortiers de ciment à base de fibres cellulosiques d'alfa. Ils ont montré que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage de fibres dans les mortiers et que l'ajout de fibres végétales au mortier n'a aucun effet bénéfique sur la résistance à la compression.
- **Sedan** a travaillé sur les phénomènes physico-chimiques intervenant lors de l'association de fibres de chanvre avec du ciment, ainsi que leurs impacts sur les propriétés mécaniques des composites élaborés. Ils indiquent que la résistance en flexion de ces matériaux évolue d'environ de 4,9 MPa pour le ciment à 6.8 MPa pour un composite contenant 16% en masse de fibres.

Les précédents travaux démontrent que l'introduction des fibres végétales dans des matrices cimentaires améliore la contrainte à la rupture en flexion 3 points des mortiers. On note aussi que la liaison fibre /matrice reste faible. Pour accroître les performances mécaniques et améliorer l'adhésion à l'interface, plusieurs approches ont été étudiées, incluant l'imprégnation des fibres avec des agents bloquant l'absorption d'eau, tels que le silicate de sodium et le sulfure de sodium ou des agents hydrophobe.

Les fibres végétales comme le sisal, le jute, le lin, le chanvre ou encore le bambou, et les fibres de bois ont été utilisées comme renforts des matrices cimentaires dans les pays en voie de développement, dans le secteur du bâtiment. La résistance en flexion de ces matrices fragiles, telles les mortiers ou les pâtes de ciment, peut être considérablement améliorée grâce aux propriétés mécaniques des fibres (résistance en traction élevée). D'une manière générale, les auteurs expriment le taux de renforcement en masse et non en volume.

- Savastona et al ont utilisé du sisal, des copeaux de bananier, ou encore de l'eucalyptus afin de renforcer un composite a matrice cimentaire. Les essais mécaniques indiquent une performance optimale pour une fraction massique d'environ 12%, avec une résistance en flexion d'environ 20 MPa et une énergie a rupture de 1,0 à 1,5 kJ/m². Ils observent également une chute du module de flexion pour tous les mélanges. Par exemple, pour les composites renforcés par l'eucalyptus, ce module varie de 23,5 GPa pour une pâte de ciment environ 8,3 GPa pour une teneur massique de 12% en eucalyptus (comportement évalué à 28 jours).
- Blankenhorn et al. ont travaillé sur des composites contenant des fibres de papier recycle, de feuillus ainsi que de résineux. La résistance à la flexion est plus élevée que pour le ciment pur. Le composite avec les fibres de feuillus donne les meilleurs résultats de résistance a la flexion. Cela s'explique par le fait que ces fibres sont plus longues que les autres. Ces résultats sont confirmés par d'autres études : les ciments renforcés par des fibres courtes développent de plus faibles résistances que ceux renforcés par des fibres longues.
- Abani et al. [ABA 15] ont étudié l'effet des fibres végétales du palmier dattier sur les propriétés thermiques des mortiers cimentaires (figure 2.11). Les fibres de surface du tronc dupalmier mâle de diamètre variant entre 0.1 à 0.8 mm et une longueur de 20 mm ont été intégrées aux mortiers aux teneurs massiques de 1, 2, 3, 4 et 5% par rapport à la masse du ciment. Les résultats des essais thermiques montrent que l'augmentation du pourcentage d'inclusion des fibres du palmier, réduit la conductivité thermique de 36% et la chaleur spécifique des composites de 10% comparativement au mortier témoin.

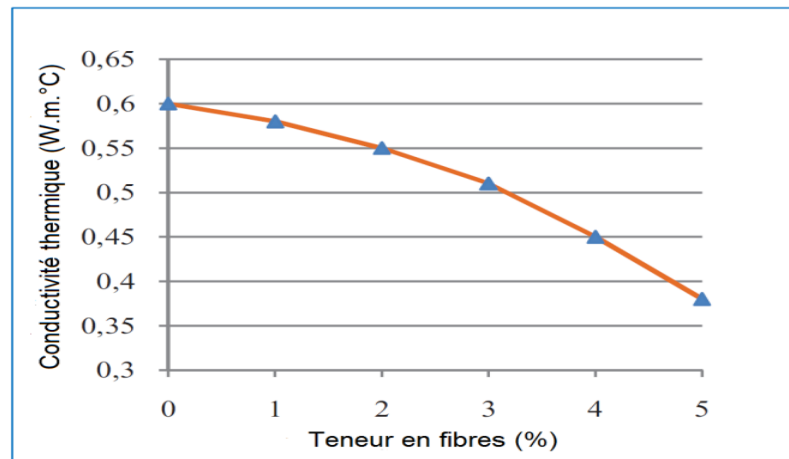


Figure. II. 10(a): Conductivité thermique des composites en fonction de la teneur en fibres du palmier dattier [ABA 15]. [26]

- Lertwattananuruk et al. [LER 15], ont utilisé les fibres de noix de coco et du palmier à huile traitées à l'eau bouillante en tant que renfort dans la production des mortiers cimentaires dans les régions climatiques chaudes et humides. Les fibres d'une longueur de 5-10 mm ont été ajoutés aux mortiers aux pourcentages massiques de 5, 10 et 15%. Ils ont observé que la conductivité thermique diminue avec l'augmentation de la teneur en fibre avec une diminution respective de la conductivité thermique, par rapport à celle du mortier témoin, de 45 et 60 %, pour les mortiers à base de 15% de fibre de noix de coco et de palmier à huile. Cette diminution est le résultat selon les auteurs de l'ajout des fibres à la matrice cimentaire qui augmente la porosité des composites produits et réduit leur densité; ce qui par conséquent augmente leur capacité d'isolation thermique.

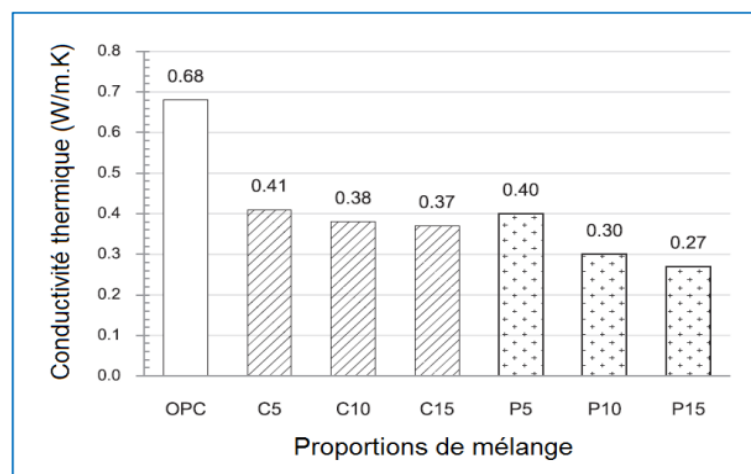


Figure. II. 10(b): Conductivité thermique des mortiers de fibres de noix de coco et du palmier à huile [LER 15]. [26]

II.10. La fibre de sisal

II.10.1. Définition de sisal

Le sisal est une plante vivace constituée par une rosette de grandes feuilles à section triangulaire allant jusqu'à 2 m de long. Il s'agit d'une plante tropicale, principalement cultivé en Amérique du sud et en Afrique. La longueur moyenne de ces fibres est de 3 mm. Le sisal (*Agave sisalana*) est une plante de la famille des Agavaceae originaire de l'est du Mexique où on la trouve également sous l'appellation de henequen. Le sisal est également le nom de la fibre extraite des feuilles de cette plante. Très résistante, cette fibre sert à la fabrication de cordage, de tissus grossiers et de tapis. L'origine de son nom provient de la ville de Sisal située dans la province du Yucatan au Mexique. C'est à partir du port de cette ville qu'étaient expédiées les fibres dans le monde entier. La production mondiale de sisal est estimée à 300000 tonnes. Les principaux producteurs sont le Brésil (120000 tonnes), la Tanzanie (30000 tonnes) et le Kenya (25000 tonnes). Le Brésil exporte près de 100000 tonnes de fibre brute et de produits manufacturés, le Kenya 20000 tonnes et la Tanzanie 15000 tonnes. [23]

II.10.2. La culture

Le sisal qui est une plante résistante pousse toute l'année dans des climats chauds et arides souvent impropres aux autres cultures. Elle s'accommode de la plupart des types de sols saufs ceux les sols argileux, très salins et humides. Sa culture est relativement simple car elle résiste bien aux maladies et nécessite comparativement peu d'intrants. Le sisal peut être récolté deux ans après avoir été planté et sa vie productive peut atteindre 12 ans. Chaque plante peut produire de 180 à 240 feuilles selon la situation géographique, l'altitude, la pluviométrie et la variété considérée. [23]



Figure. II. 11: fibre naturelles du sisal.[23]

II.10. 3. Production de la fibre de sisal

La fibre de sisal est actuellement produite à des fins commerciales au Brésil, au Kenya, en Tanzanie et à Madagascar. Le sisal est également cultivé au Mexique, en Haïti, en Afrique du Sud, au Mozambique et en Chine. Toutefois, les quantités produites par ces cinq pays sont minimales au regard du marché mondial, et à l'exception du Mozambique, qui exporte jusqu'à 1 000 tonnes de sisal par an, ces petits fournisseurs n'ont pas d'impact sur l'offre et la demande mondiales.

La production mondiale de sisal en 2015 dans les quatre principaux pays producteurs était d'environ 161 160 tonnes. On estime que 16 000 tonnes de sisal «de haie» ont été produites à proximité du lac Victoria en Afrique de l'Est. Cette fibre est fabriquée à la main et produite par des exploitants pratiquant une agriculture de subsistance. Elle n'est pas destinée à être exportée et est utilisée sur le marché local pour confectionner des matelas, ainsi que des ficelles et des cordes.

Environ 35 000 tonnes ont été utilisées localement, surtout au Brésil, où dix filatures fabriquent de la corde pour l'Amérique du Nord. Au Kenya, en Tanzanie et à Madagascar, le sisal est cultivé dans d'importantes exploitations, allant de 500 à 12 500 hectares. Ces plantations ont un fort coefficient de capital, sont bien organisées et mécanisées et exploitent des variétés à haut rendement. Les variétés varient en fonction des endroits, du type de sol, du matériel de plantation et de l'efficacité globale de l'exploitation. Le secteur du sisal au Mozambique est caractérisé par la prédominance des petites exploitations. Leur niveau de

production est plus faible et la qualité de la fibre n'est pas aussi constante que dans d'autres pays producteurs africains.

Alors que le sisal africain est décortiqué mécaniquement via un processus à base d'eau, le sisal brésilien est transformé à la main, ou à l'aide d'un outillage rudimentaire, en suivant un procédé totalement à sec. Ces deux méthodes de traitement ont un impact sur la qualité de la fibre. Le sisal africain est de qualité supérieure ce qui justifie un prix plus élevé et le destine à être utilisé dans des produits finis à forte valeur ajoutée.

La production africaine de sisal a augmenté lentement au cours des dernières années, tandis que la production brésilienne était en baisse. La baisse de la demande/consommation des produits agricoles et le ralentissement du développement économique au Brésil ont accéléré le passage d'une agriculture de subsistance aux emplois urbains, et cette tendance devrait perdurer à l'avenir. [23]

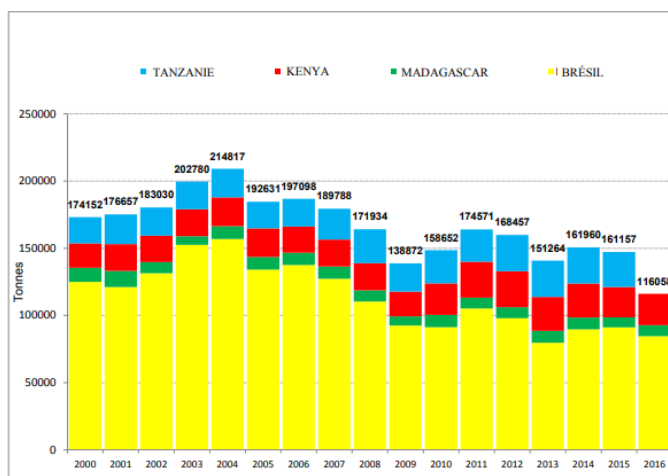


Figure. II. 12: Production totale de sisal 2000-2016. [23]

II.10. 4. Utilisation de la fibre de sisal

Historiquement, la fibre de sisal était utilisée pour confectionner de la ficelle et de la corde à des fins agricoles et commerciales, pour fabriquer des matelas, pour rembourrer des meubles et tisser des sacs ou des revêtements de sol de qualité médiocre. Le sisal a été remplacé au cours des quarante dernières années par des fibres synthétiques plus économiques. Le sisal africain est de plus en plus utilisé dans des produits finis à forte valeur

ajoutée et pour divers autres usages; c'est la qualité constante et supérieure de ce sisal qui permet son utilisation dans des produits finis plus rémunérateurs. Ces catégories de produits, particulièrement le renforcement du plâtre dans le secteur de la construction et la production de pulpe, connaissent une croissance constante depuis plusieurs années. En revanche, l'utilisation dans des matériaux composites est restée limitée, principalement en raison de prix élevés. Toutefois, ce type d'utilisation devrait se développer dans les prochaines années, car le sisal est non seulement biodégradable, mais aussi plus léger que les matériaux de construction traditionnels. [23]

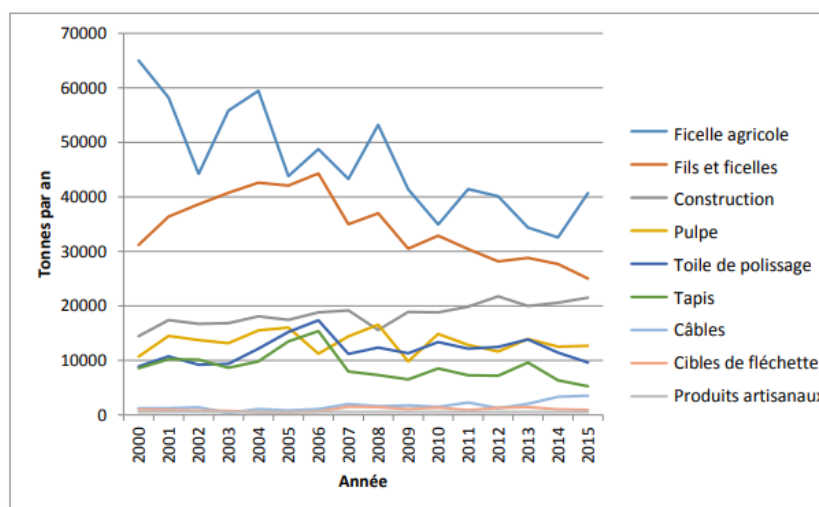


Figure. II. 13: Utilisation du sisal entre 2000 et 2015 (plus de 500 t/an) [23]

II.10. 5. Méthode d'extraction des fibres

La préparation des fibres de sisal passe par les étapes illustrées dans la figure présentée ci-dessous:[23]

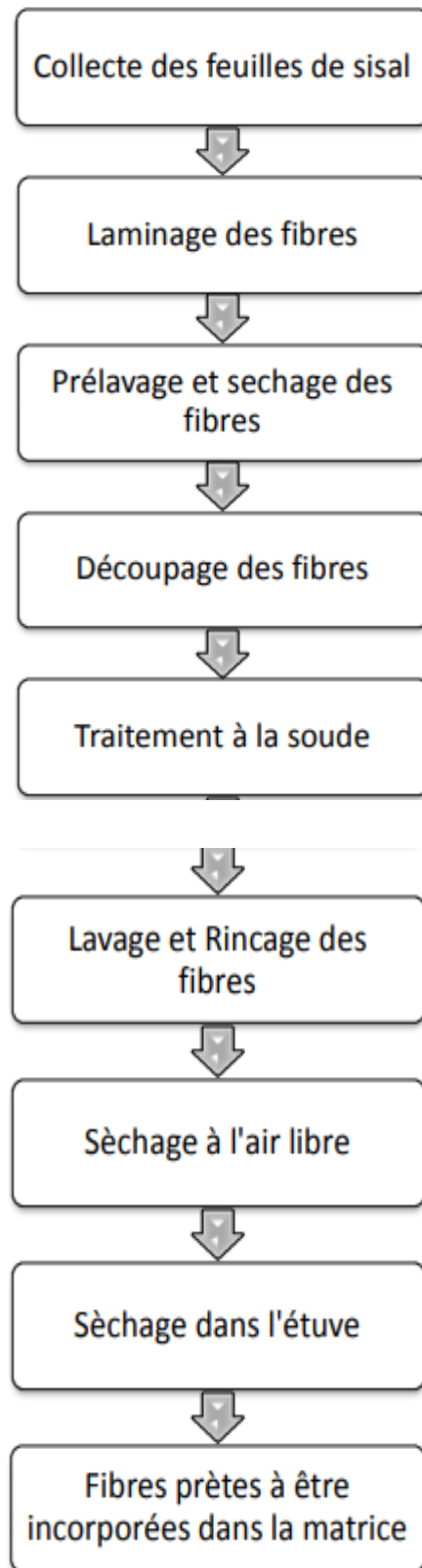


Figure. II. 14: Approche d'extraction des fibres. [23]



Figure. II. 15: Collecte des feuilles de sisal. [23]

La collecte est suivie par le laminage des fibres qui se fait manuellement. On a remarqué que le laminage est facile, c'est-à-dire, qu'on peut le faire manuellement. [23]



Figure. II. 16 : Laminage artisanal des fibres.

Les fibres sont lavées avec de l'eau de rivière pour éliminer les saletés et toutes substances qui pourraient modifier l'étude. [23]



Figure. II. 17: lavage des fibres. [23]

Le séchage des fibres suit le lavage, ce dernier se fait à l'air libre pendant 3 jours environ.[23]



Figure. II. 18: Séchage des fibres [23]

II.11. Conclusion

Comme tous les produits naturels, les propriétés mécaniques et physiques des fibres naturelles varient considérablement. Ces propriétés sont gouvernées par la composition chimique et structurale et dépendent du type de la fibre et des conditions de croissance. La cellulose, le composant principal de toutes les fibres végétales, varie d'une fibre à une autre.

Chapitre

III

**Expérimentale et
matériaux**

Introduction

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents matériaux utilisés pour réaliser les mélanges étudiés et les techniques expérimentales mises en œuvre afin de caractériser leurs performances mécaniques. Les essais mécaniques de flexion trois points et de compression sont présentés, ainsi que les modes opératoires et les techniques de mesures.

III.1. Présentation des matériaux étudiés

1.1. Le mortier

La méthode de composition du mortier classique utilisée est celle donnée par la norme EN-196-1. Sa composition massique est comme suit :

- 03 Parties de sable.
- 01 Partie de ciment.
- 0.5 Partie d'eau.

Nous avons travaillé avec une ouvrabilité constante. Cette ouvrabilité est déterminée par l'essai d'étalement et cela pour l'optimisation du rapport $E/C=0.5$ et l'obtention d'une meilleure ouvrabilité.

D'un cette étude expérimentale on utilise deux types de mortier :

- Mortier témoin : (ciment + sable + l'eau)
- Mortier à base de fibres végétales : (ciment + sable + l'eau + les fibres + adjuvant).

III.1.1 Ciment

Le ciment utilisé dans notre travail est un ciment Portland composé (CEMII/B-L 42.5) de la Société des Ciments LAFARGE.



Figure III.1 : Type de ciment.

❖ les caractéristiques du ciment utilisé sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 1 : Analyses chimiques du ciment.

Paramètre	Valeur
Pert au feu	7.5 – 12
Résidus insoluble	0.7 – 2
Teneur en sulfates SO₃	2 - 2.7
Teneur en oxyde de magnésium	1 - 2.2
Teneur en chlorures	0.01 - 0.05
Teneur équivalent en alcalis	0.3 - 0.75

Tableau III.2 : Composition minéralogique du ciment.

Minéraux	Pourcentage
C₃S	58 – 64
C₂S	12 – 18
C₃A	6 – 8
C₄AF	10 – 12

Tableau III.3 : Les caractéristiques physiques du ciment.

Caractéristique	Valeurs	Unité
S.S. Blaine (NA 231)	4150 – 5250	cm² /g
Consistance normale	25 – 28.5	%
Début de prise (NA 230)	140 – 195	Min

Fin de prise (NA 230)	195 – 290	Min
Retrait à 28 jours	<1000	µm/m
Expansion	0.3 – 2.5	Mm

Tableau III.4 : Résistance à la compression (NA 234).

Age	2 jours	28 jours	
Résistance à la compression	Différent $\geq 10\text{Mpa}$	$\geq 42.5\text{Mpa}$	$\leq 69.5\text{Mpa}$

III.1.2 Sable

Nous avons utilisé un sable de classe granulaire (0/3) de la région de Tizi-Ouzou. Un sable de bonne granulométrie doit contenir des grains fins, moyens et gros.



Figure III.2 : Le sable utilisé.

III.1.3 L'eau

L'eau de gâchage utilisée dans notre étude est une eau potable (eau de robinet) fournie au laboratoire de génie-civil. Avec un rapport eau/ciment(E/C) couramment utilisé de 0,5. On estime que la moitié de l'eau de gâchage sert à l'hydratation du ciment, l'autre moitié d'eau au mouillage interstitielle qui contribue à la plasticité du mortier requise pour sa mise en œuvre.

III.1.4 Adjuvant

Un adjuvant superplastifiant haut réducteur d'eau est un adjuvant qui, sans modifier la consistance, permet de réduire fortement la teneur en eau d'un béton donné, en augmentant considérablement l'affaissement (l'étalement).

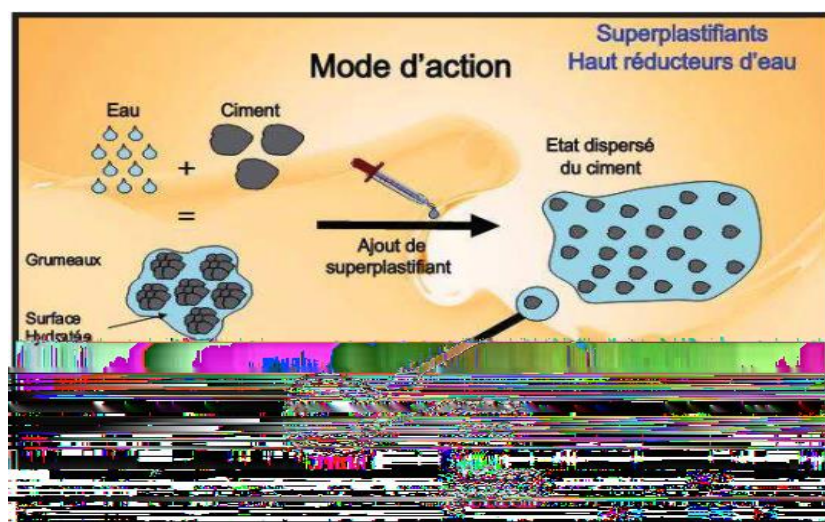


Figure III.3 : Mécanismes d'action des super plastifiants. [27]

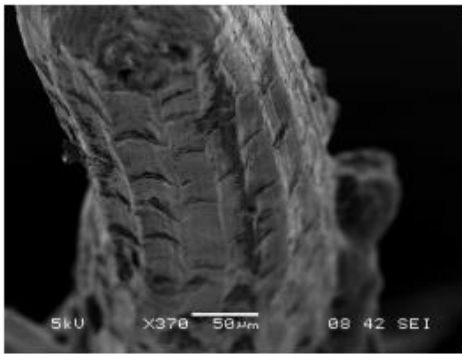
III.2. Les fibres

III.2.1. La fibre de Sisal

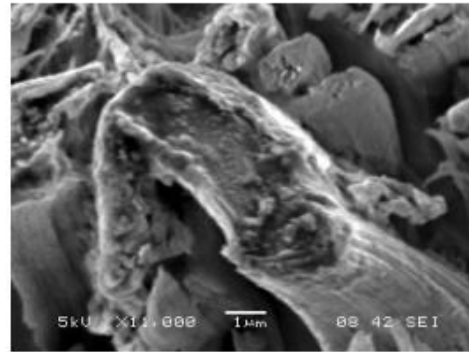
Le sisal est une fibre qu'on ne présente presque plus car elle revient très souvent dans la littérature des composites à base de fibres végétales. Le sisal constitue, avec les autres fibres textiles du genre Agave, la plus "grossière" des fibres *dures* parmi les nombreuses variétés cultivées dans des conditions tropicales et subtropicales; il est plus "grossier" que le jute et les autres fibres libériennes.

a. Morphologie des fibres de sisal [25]

Les figures III.4 (a) et III.4 (b) donnent des renseignements sur l'aspect et la forme de la fibre de sisal. Il est à noter que le lumen n'apparaît pas distinctement sur ces images, ce qui laisse croire que leur structure vue suivant la section droite est semblable à un enroulement en peau d'oignon.



(a) Profil de la fibre de sisal



(b) section droite de la fibre de sisal

Figure III.4: Micrographie SEM des fibres de sisal.

b. Composition chimique de fibre de sisal

La cellulose, l'hémicellulose, la lignine et la teneur en cendre en sont les principaux constituants, ils sont donnés par le tableau (III.5).

Tableau III.5 : Composition chimique de fibre de sisal en % massique [A].

Cellulose	Hémicellulose	Lignine	Teneur en cendre
60	28	8	0,8

c. Propriétés physiques de la fibre de sisal

Les propriétés physiques de fibres de sisal sont données dans le tableau (III.6).

Tableau III.6 : Propriétés physiques de fibre de sisal.

Paramètre	Valeurs
Diamètre [mm]	0,19
W (%)	11,02
TAE (%)	67
Densité [g/cm ³]	0,92
Contrainte à la rupture [MPa]	300 – 500
Module d'élasticité [GPa]	10,04
Déformation [%]	2 – 5
Aspect de surface	rugueuse

d. Masse volumique

Le premier essai sur les fibres de sisal est de mesurer la masse volumique d'un échantillon. On a mesuré donc la masse volumique apparente.

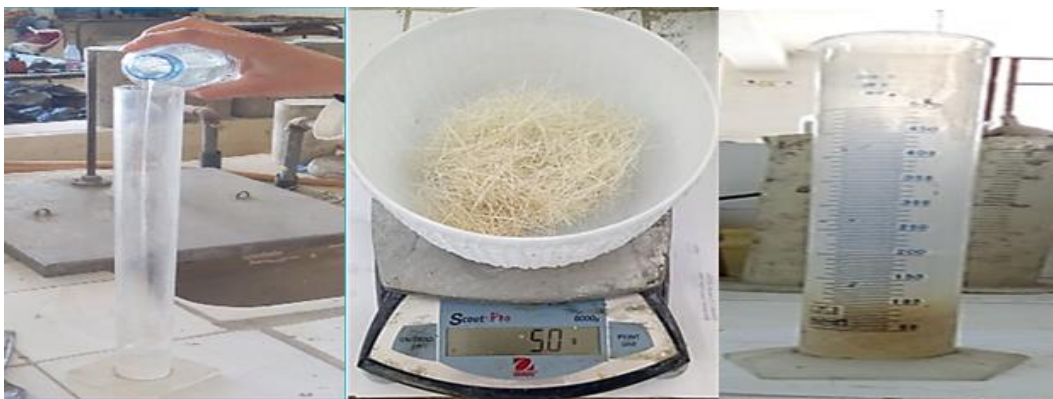


Figure III.5 : Mesure de la masse volumique de la fibre de sisal.

- Calcule la masse volumique de fibre sisal:

$$M_c = 5 \text{ g}$$

$$h_1 = 100 \text{ ml}$$

$$h_2 = 110 \text{ ml}$$

$$\frac{M}{H} = \frac{5}{110 - 100} = \frac{5}{10} = 0.5 \text{ g/ml}$$

III.3. Détermination des proportions des matériaux

- Mortier témoin

Ciment : 450g

Sable : 1350g

Eau : 225g.

Ce mortier est malaxé pendant 4minutes. Pour pouvoir travailler avec une ouvrabilité constante, nous avons ajouté un super- plastifiant. Pour les mortiers fibrés, on ajoute les fibres à la fin du malaxage. Le dosage de fibres utilisé est de 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1%, 1.25% et 1.5% avec deux longueurs de fibres différentes à savoir 7cm et 10cm.

III.3 Détermination de la masse volumique apparente, absolue, équivalent de sable

- **Equivalent de sable**

Cet essai permet de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable, le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier, l'essai d'équivalent de sable est déterminé selon la norme NF P 18-598 [29].

Tableau III.7 : Détermination d'équivalent du sable.

ES à vue	ES au piston	Nature et qualité du sable
ES <65	ES <60	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
$65 \leq ES < 75$	$60 \leq ES < 70$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour béton de qualité courante et on ne craint pas particulièrement le retrait.
$75 \leq ES < 85$	$70 \leq ES < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES \geq 85	ES \geq 80	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses, risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

➤ But de l'essai

Cet essai est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers. Une procédure normalisée permet de déterminer le coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

➤ Mode opératoire

La détermination de l'équivalent de sable dans ce travail est effectuée selon les étapes suivantes:

- Tamiser une quantité de sable 300g
- Prendre une pesée de 120 g
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120 g) l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant 10 minutes.
- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui provoqué un mouvement de 90 cycles de 20 cm en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.

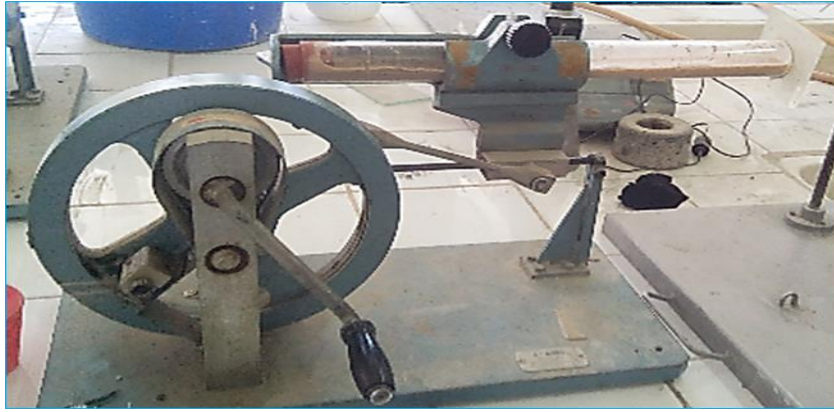


Figure III. 6 : Agitateur mécanique.

- Retirer ensuite le bouchon, le rincer au-dessus de l'éprouvette, puis rincer les parois de celle-ci.

- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution atteigne le 2^{ème} repère. Laisser ensuite reposer pendant 20 mn.

- Les résultats des essais d'équivalent de sable utilisé sont:

$$Es = (h1/h2) \times 100 \%$$

a) ES1 h1 = 8.4 cm.

h2 = 10.2 cm. \Rightarrow ESV = 82.4 %.

b) ES2 h1 = 8.2 cm.

h2 = 10.5 cm \Rightarrow ESP = 78.1 %.

Tableau III.8 : Équivalent de sable.

Sable non lavé	Prise 1	Prise 2
H2	10.2	10.5
H1	8.4	8.2
ES (%)	80.4	78.1
ES (%)	79.25	
température	20°C	

Avec :

ES: l'équivalent de sable.

ES1 : (équivalent de sable Prise 1)

ES2 : (équivalent de sable Prise 2)

h1: hauteur des grains solides sableux.

h2: hauteur des grains solides sableux + des impuretés argileuses.

On remarque que $75 \leq ES \leq 85$ donc le sable est propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.

➤ Masse volumique

Tout d'abord, on a commencé par mesurer la masse volumique du sable en deux étapes, une masse volumique apparente et une masse volumique absolue.



Figure III.7 : Mesure de la masse volumique apparente.

➤ Masse volumique apparente

Nous avons mesuré la masse volumique apparente du sable étudié, par la détermination de la masse d'un remplissage d'une mesure d'un litre, qui doit être effectué sans aucun tassement. Trois essais ont été effectués. La précision de la balance utilisée est de 0.1grammes.

$$MV_{ap} = \frac{M}{V}$$

➤ Masse volumique absolue

Nous avons rempli l'éprouvette d'un volume d'eau (noté V1). Ensuite nous avons introduit dans l'éprouvette environ 300g de l'échantillon testé (notée Ms). Après l'élimination de toutes les bulles d'air par une légère agitation, nous avons lu le nouveau volume (noté V2). La lecture des volumes a été faite en bas du ménisque. La masse est alors calculée : D'où la masse volumique :

$$MV_{ab} = \frac{M_s}{V_2 - V_1}$$

Tableau III.9 : Masses volumiques de sable utilisé.

Classe granulaire	Masse volumique absolue (g/cm ³)	Masse volumique apparente (g/cm ³)
Sable non lavé (0/3)	1.485	2.63

III.4. Fabrication et préparation des spécimens

III.4.1. Elaboration des éprouvettes

Les éprouvettes de mortier utilisées sont de forme prismatique ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$). Elles sont élaborées de la même façon afin d'assurer une reproductibilité dans les manipulations. La composition des différents mortiers est donnée dans le tableau (III.10) et les quantités de fibres utilisées dans le tableau (III.11).

Tableau III.10 : Composition des différents mortiers.

malaxage	épreuve	Pourcentage %	Le volume (cm^3)	Ms (g)	Mc(g)	Me(g)
Malaxage 1	Alvéole 1	0.25%	255.36	1241.04	413.64	206.83
	Alvéole 2					
	Alvéole 3					
Malaxage 2	Alvéole 1	0.5%	254.72	1237.93	412.64	206.31
	Alvéole 2					
	Alvéole 3					
Malaxage 3	Alvéole 1	0.75%	254.08	1234.82	411.6	205.80
	Alvéole 2					
	Alvéole 3					
Malaxage 4	Alvéole 1	1%	253.44	1231.71	410.56	205.28
	Alvéole 2					
	Alvéole 3					
Malaxage 5	Alvéole 1	1.25%	252.8	1228.60	409.53	204.76
	Alvéole 2					
	Alvéole 3					
Malaxage 6	Alvéole 1	1.5%	252.16	1225.47	408.49	204.24
	Alvéole 2					
	Alvéole 3					

Tableau III.11 : La masse de la fibre utilisée.

Les fibres	0.25%	0.5%	0.75%	1%	1.25%	1.5%
Sisal (g)	0.96	1.92	2.88	3.84	4.8	5.76

III.4.2. Gâchage des éprouvettes

Les mortiers ont été réalisés selon la norme (NF P 15 – 403). Le gâchage est réalisé à l'aide d'un malaxeur à axe verticale d'une capacité de 5 litres spécifié par la norme (NF P 15 – 411) figure (III.8) en suivant le même protocole. Le gâchage comme le malaxage sont des opérations délicates. Il faut, d'une part, s'assurer d'une qualité d'enrobage acceptable, d'une bonne dispersion des fibres et d'autre part, éviter la ségrégation des granulats. La durée du malaxage et la vitesse de malaxage sont des facteurs primordiaux dans l'homogénéité du mélange.

Le malaxeur étant en position de fonctionnement :

- on verse l'eau dans le récipient, on lui ajoute le liant,
- on met le malaxeur en marche à la vitesse lente pendant une minute ; dans les 30 dernières secondes, on introduit le sable,
- ensuite on met le malaxeur à la vitesse rapide pendant 2 mn,
- on arrête le mouvement ; avec le batteur démonté de son axe, on racle les parois et le fond du récipient de façon qu'aucune partie du mortier n'échappe au malaxage.
- après remontage du batteur, on reprend le malaxage pendant 2 mn à vitesse rapide.

L'introduction des fibres se fait dans cette dernière phase. Cette dernière phase permet d'assurer une meilleure dispersion des fibres dans le mortier et une bonne homogénéisation du mélange. Les moules sont remplis en trois couches d'égale épaisseur, chaque couche étant compactée par la mise en marche de la table vibrante pendant 20 secondes.



Figure III.8 : Elaboration des mortiers.

Le mélange de mortier est gâché dans des moules $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, préalablement huilés afin de permettre un décoffrage facile voir figure (III.9).



Figure III.9 : Fabrication et moulage des éprouvettes.

III.4. 3. Conservation des éprouvettes

Après coulage du mortier et assurer le surfaçage des faces supérieures des moules, les éprouvettes sont ensuite entreposées dans la salle du laboratoire pendant 24 heures. Les moules sont couverts d'un sac plastique afin d'éviter toute évaporation de l'eau. Une fois démoulées, les éprouvettes sont conservées dans un bac à eau pour une cure de 28 jours d'âge.

III.5. Essai de traction par flexion trois points

Les essais de flexion trois points ont été réalisés sur la machine de marque IBERTEST, d'une capacité maximale de 200kN, asservie en force. Le pilotage, l'asservissement et l'acquisition des données se font à l'aide de l'outil informatique. Afin d'éviter les effets parasites provoqués par les défauts de parallélisme et de planéité de la face

supérieure de l'éprouvette, nous avons appliqué le chargement sur les faces latérales de l'éprouvette. Les essais sont réalisés à température ambiante. La machine est pilotée à vitesse de traverse constante fixée à 10 mm/min soit 0.1kN/s.



Figure III.10 : Machine IBERTEST.

Nous avons testé les éprouvettes de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, la distance « L » entre appuis est égale aux 3/4 de la longueur de l'éprouvette figure (III.11) soit 12 cm.

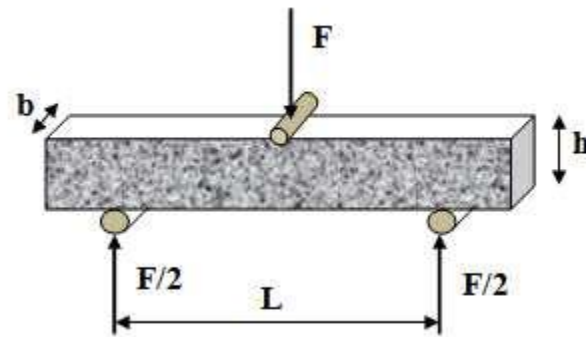


Figure III.11:Dispositif de rupture en flexion trois points.

III.5.1. Essai de compression

Les essais de compression ont été réalisés sur la même presse IBERTEST, avec un montage approprié à la compression figure (III.12).



Figure III.12 : Dispositif de l'essai de compression.

Ces essais ont été réalisés sur les demi – éprouvettes issues des essais de flexion trois points comme indiqué sur la figure (III.13) avec une vitesse de chargement de 0,25 mm/min. La résistance en compression a été évaluée selon la norme (NF P 18 – 406). Nous avons testé des cubes de $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$.

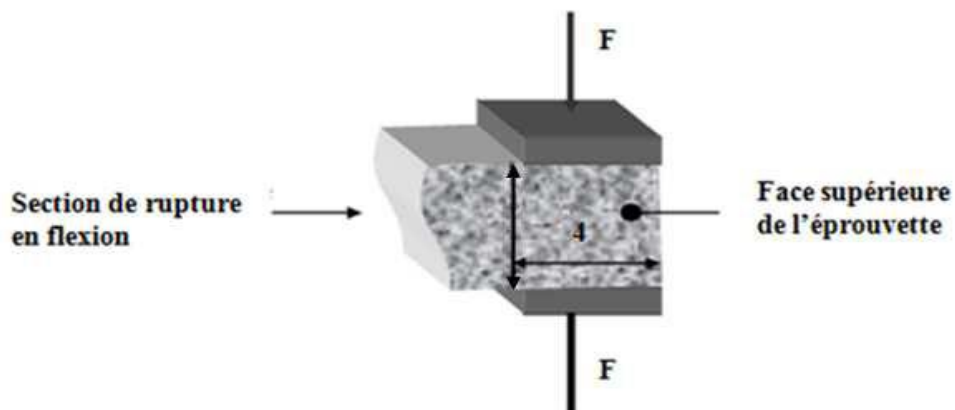


Figure III.13 : Dispositif de rupture en compression.

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents matériaux utilisés dans cette étude avec leurs caractéristiques, la formulation des différents mélanges. Deux paramètres ont été variés (la longueur de la fibre et le pourcentage en fibres). On a mentionné aussi l'identification et la caractérisation des différents matériaux utilisés dans notre étude. Nous avons présenté le programme expérimental retenu dans cette recherche : le choix de corps d'épreuve et les conditions de conservation.

Chapitre

IV



Interprétation des résultats

Introduction

Dans ce chapitre, on a traité le comportement mécanique des mortiers étudiés. Les différents mortiers sont formulés en faisant varier deux paramètres à savoir la longueur des fibres et le pourcentage en fibres. Les matériaux renforcés sont caractérisés en flexion 3 points et en compression. Les essais de flexion ont été effectués sur des échantillons prismatiques de dimensions $(4 \times 4 \times 16)$ cm³ et ceux de compression ont été réalisés sur des cubes équivalents $(4 \times 4 \times 4)$ cm³ comme déjà mentionné dans le chapitre III. Une synthèse des résultats des caractéristiques mécaniques (résistance en traction par flexion, résistance en compression) obtenus est présentée dans ce chapitre. Les courbes force-déplacement sont présentées et analysées en parallèle pour chaque variante.

IV.1. Comportement en flexion trois points

Dans cette partie, nous avons étudié la réponse des différents spécimens d'étude sous chargement continu, du point de vue du comportement global. Cette étude servira de référence pour étudier la différence avec le comportement des mortiers à base de fibres de Sisal et des mortiers de référence.

Une fois le mûrissement de toutes les éprouvettes est assuré, tous les réglages concernant les essais de compression et flexion trois points (machine, paramètres et configuration) sont organisés. Les résultats obtenus, sur chaque série de spécimens, nous permettra de fournir des informations indispensables à la compréhension de leur comportement mécanique, puisque ils sont les caractéristiques les plus importantes dans le choix du matériau de construction.

Les essais sont réalisés sur des échantillons prismatiques de dimensions $(4 \times 4 \times 16)$ cm³ testées sur une machine de type presse hydraulique de marque IBERTEST pilotée par un ordinateur voir figure ci-dessous. C'est une machine universelle qui peut effectuer sans encombre la traction, la compression et la flexion. Sa capacité maximale de 200 KN. Elle est programmée pour les essais de compression et les essais de flexion pour des éprouvettes en béton ou de mortier. L'éprouvette est soumise à une charge croissante jusqu'à sa rupture. L'éprouvette est positionnée sur deux appuis dans la direction longitudinale. Muni d'un plateau supérieur mobile, l'asservissement est réalisé progressivement avec une vitesse de chargement contrôlée jusqu'à la rupture



Figure IV.1 : Machine IBERTEST



Figure IV.2 : Eprouvette sous traction par flexion trois points.

Les résultats des résistances mécaniques à la flexion des mortiers fibrés et mortier témoin sont présentés dans le tableau (IV.1).

Tableau IV.1 : Résistance en flexion des mortiers étudiés.

		Résistance en flexion (MPa)						
%		0%	0.25%	0.5%	0.75%	1%	1.25%	1.5%
Mortier	MFS7	8,84	7.53	7.37	7.34	8.11	7.99	7.92
	MFS10	8,84	8.12	7.534	9.09	8.44	9.00	9.49

MFS7 : Désigne un mortier à base de fibres de Sisal avec une longueur de la fibre de 7 cm.

MFS10: Désigne un mortier à base de fibres de Sisal avec une longueur de la fibre de 10 cm.

La figure IV.3 présente l'évolution des résistances en flexion des mortiers non renforcés et renforcés de fibres de sisal en utilisant deux longueurs de fibres (MFS7) et (MFS10).

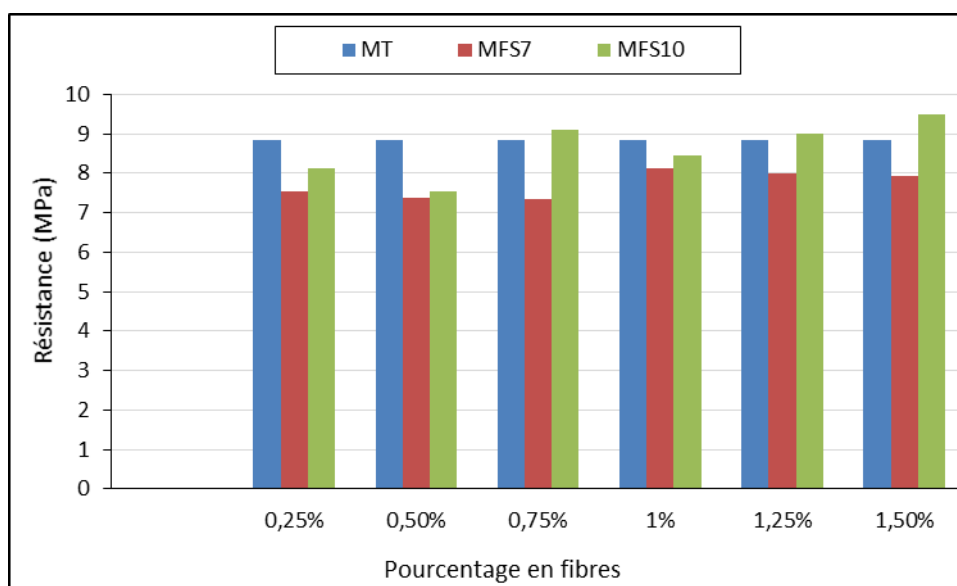


Figure IV.3 : Résistance en flexion trois points des mortiers étudiés.

La figure nous montre que les mortiers renforcés en fibres de sisal de 7 cm ont présenté une baisse de résistance par rapport au mortier témoin. Alors que les mortiers renforcés en fibres de 10 cm ont présenté une augmentation de résistance pour les pourcentages en fibres supérieur à 0,75%.

IV.2. Influence de la longueur de fibres

Les courbes force-déplacement ci-dessous sont présentées pour évaluer l'influence de la longueur des fibres incorporées dans les mortiers étudiés. Les longueurs de 7 cm et 10 cm sont proposées au vu des dimensions des moules.

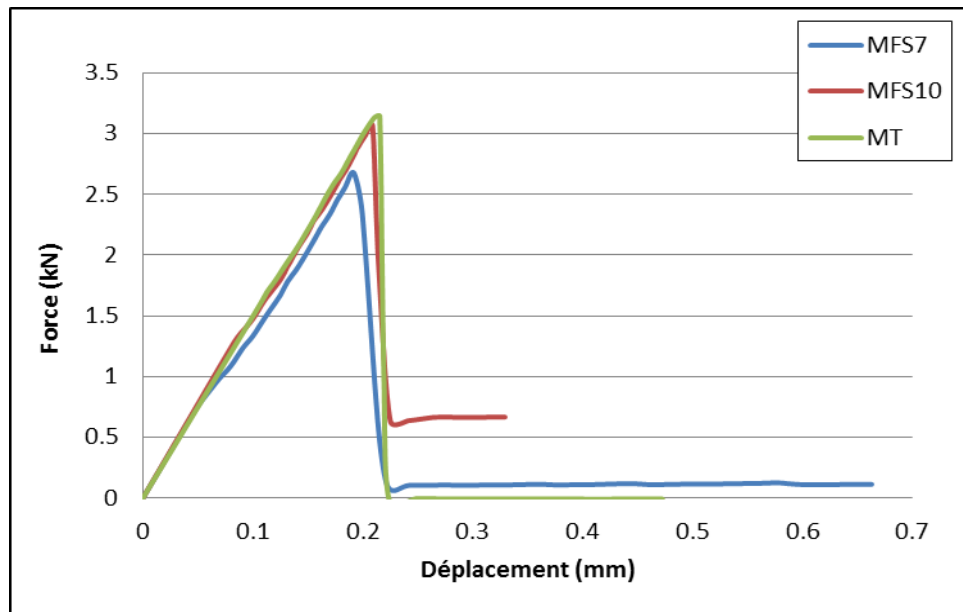


Figure IV.4 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 0.25% en fibres.

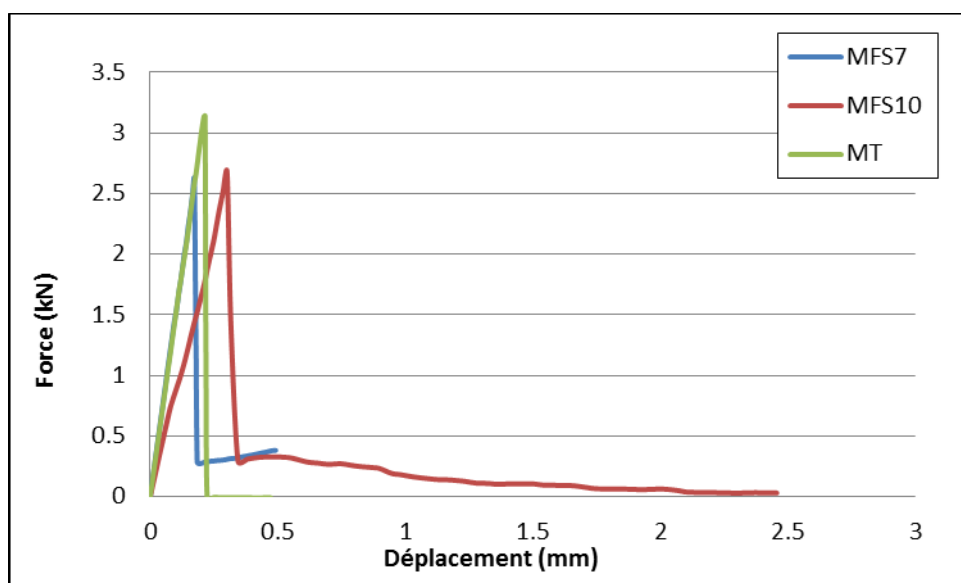


Figure IV.5 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 0.50% en fibres.

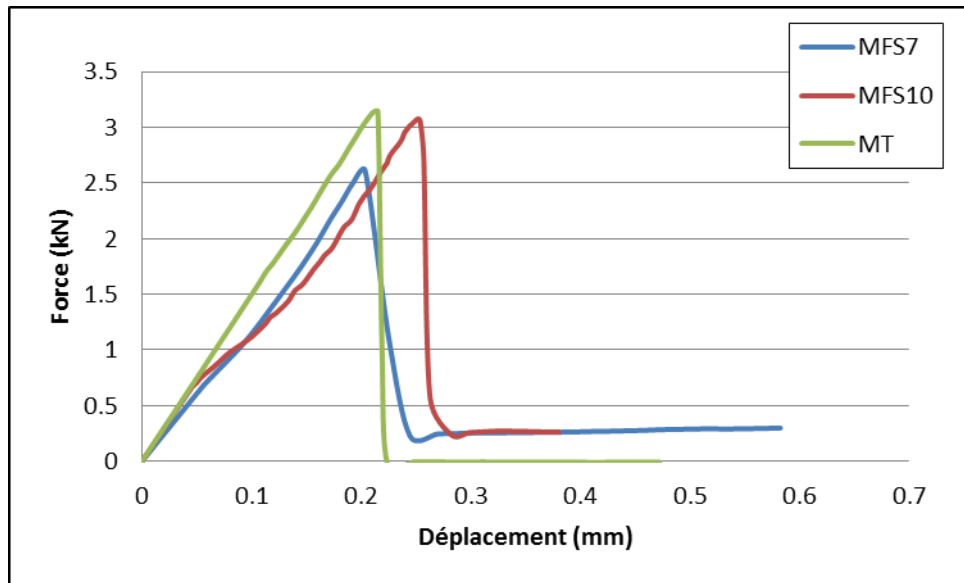


Figure IV.6 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 0.75% en fibres.

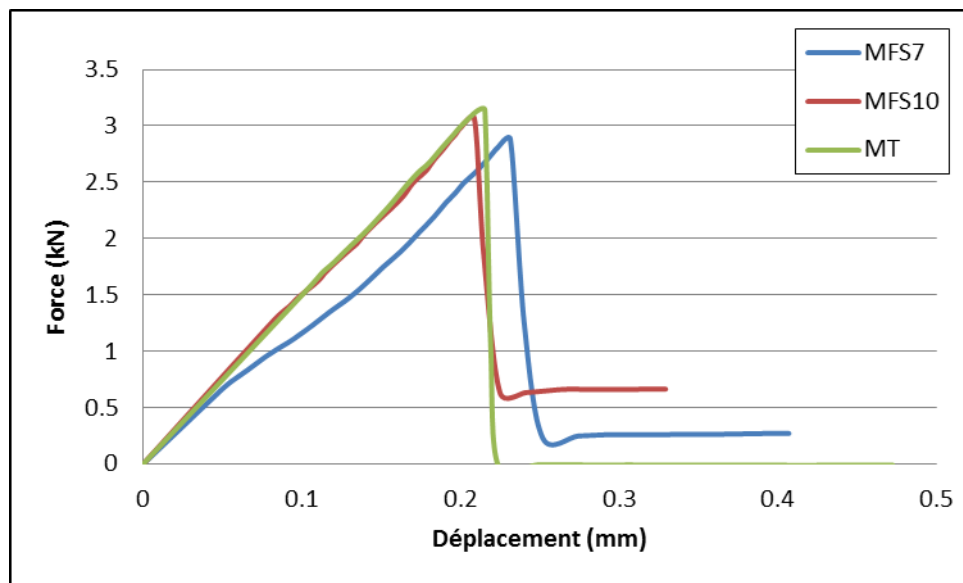


Figure IV.7 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 1% en fibres.

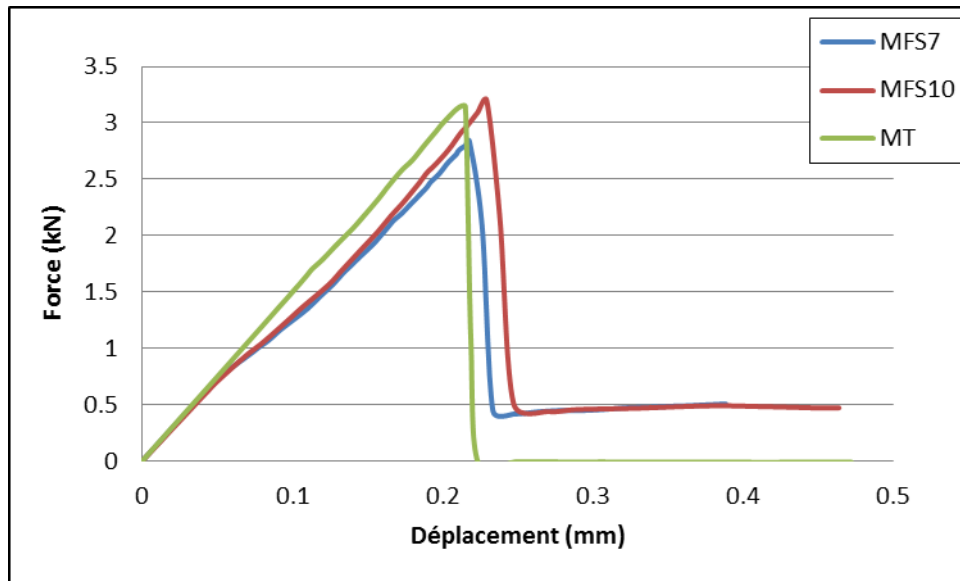


Figure IV.8 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 1.25% en fibres.

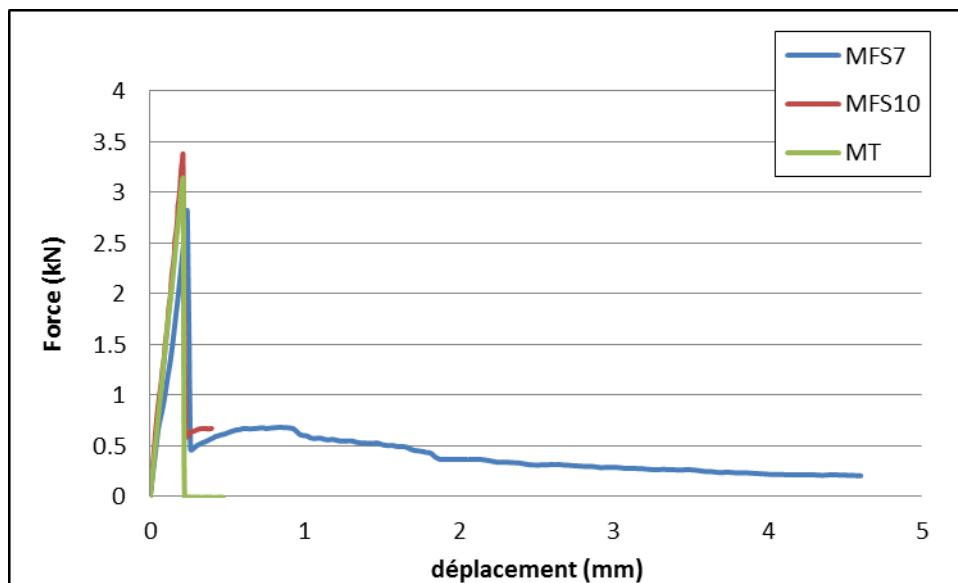


Figure IV.9 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers à 1.5% en fibres.

Le comportement des mortiers à base de fibres de Sisal étudiés en flexion est similaire, montrant trois phases. D'abord, une augmentation linéaire de la charge appliquée jusqu'à ce que la charge maximale soit atteinte ce qui caractérise la résistance ultime des spécimens comme pour le mortier témoin. La seconde phase, après le pic de chargement est caractérisée par une chute brusque des efforts, visualisée après une charge plus élevée pour mortier de Sisal

contrairement au mortier témoin (comportement fragile),. La présence des fibres dans les spécimens dénote un palier de ductilité « reprise des efforts » dans la phase trois non constaté dans le cas du mortier témoin. L'après phase trois correspond à l'apparition et le ou Une capacité légèrement plus faible est enregistrée dans le mortier témoin. Le meilleur comportement est enregistré par les mortiers MFS7 et MFS10 avec 1,5% en fibres.

IV.3. Influence du pourcentage en fibres

Dans cette section, l'influence du pourcentage des fibres de Sisal présent dans les différents mortiers est présenté et analysé sous forme de courbes force-déplacement.

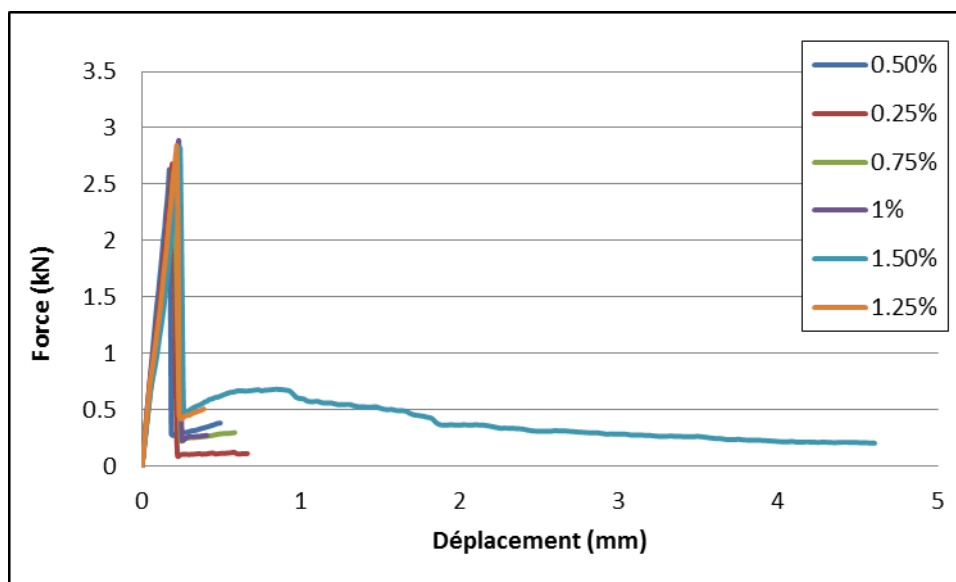


Figure IV.10 : Courbe force-déplacement en flexion des mortiers (MFS7).

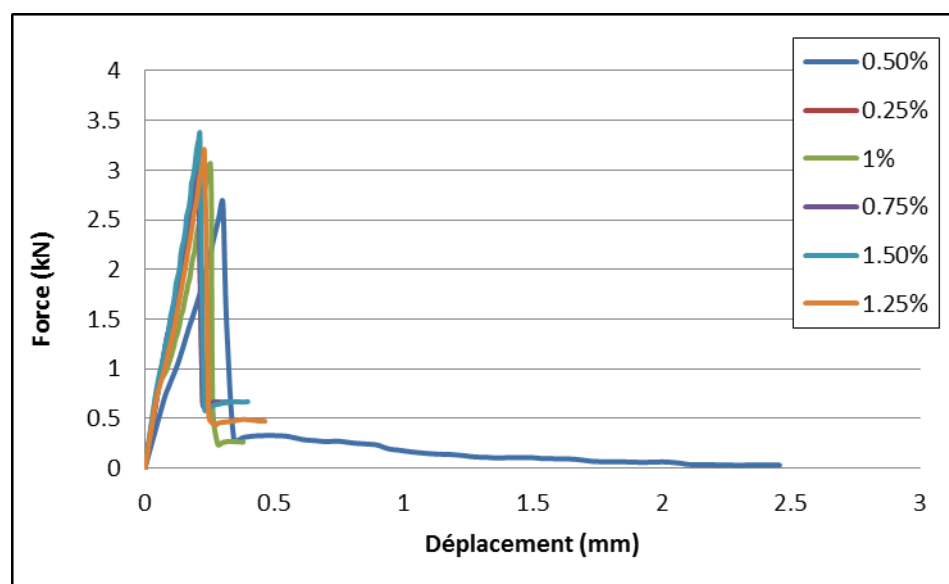


Figure IV.11 : Courbe force-déplacement en flexion du mortier (MFS10).

Le mortier (MFS7) avec 1,5% en fibres a présenté un meilleur comportement post-pic comparé aux autres pourcentages. Alors que pour le mortier (MFS10), c'est le 0,5% qui a présenté un meilleur comportement à la flexion. On constate que le pourcentage des fibres de Sisal est étroitement lié à la longueur de la fibre elle même. En effet, le mortier MFS7 enregistre une résistance maximale de 8.11MPa contre une résistance maximale de 9.49 MPa. Le mortier témoin enregistre une résistance de 8.84MPa. Il est indiqué que la présence de la fibre ne se fait ressentir qu'à partir d'un pourcentage supérieur à 0.75% pour les deux cas de figures.



Figure IV.12 : Mode de rupture des éprouvettes avec fibres de Sisal.

IV.4. Comportement en compression simple

Dans la deuxième partie de notre investigation expérimentale, une étude du comportement mécanique sous compression exécuté selon la norme (NF NE196-1) sur des éprouvettes prismatique ($4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$). Le chargement appliqué en compression est réalisé sur les demi-prismes issus de l'essai en flexion trois points avec une incrémentation de charge très modérée. Les résultats pour chaque variante sont fidèlement reproduits sous formes de tableaux et figures.



Figure IV.13: Eprouvette soumise à la compression.

Tableau IV.2 : Résistance en compression des mortiers étudiés.

		Résistance en compression (MPa)						
%		0%	0.25%	0.5%	0.75%	1%	1.25%	1.5%
Mortier	MFS7	43,19	46,17	32,63	37,28	35,45	38,69	35,30
	MFS10	43,19	45,91	41,48	44,14	40,98	45,32	42,96

L’histogramme suivante présente l’évolution des résistances en compression des mortiers non renforcés et renforcés de fibres de sisal en utilisant deux longueurs de fibres (MFS7) et (MFS10) et six pourcentages en fibres (0.25%, 0.50%, 0.75%, 1%, 1.25% et 1.50%).

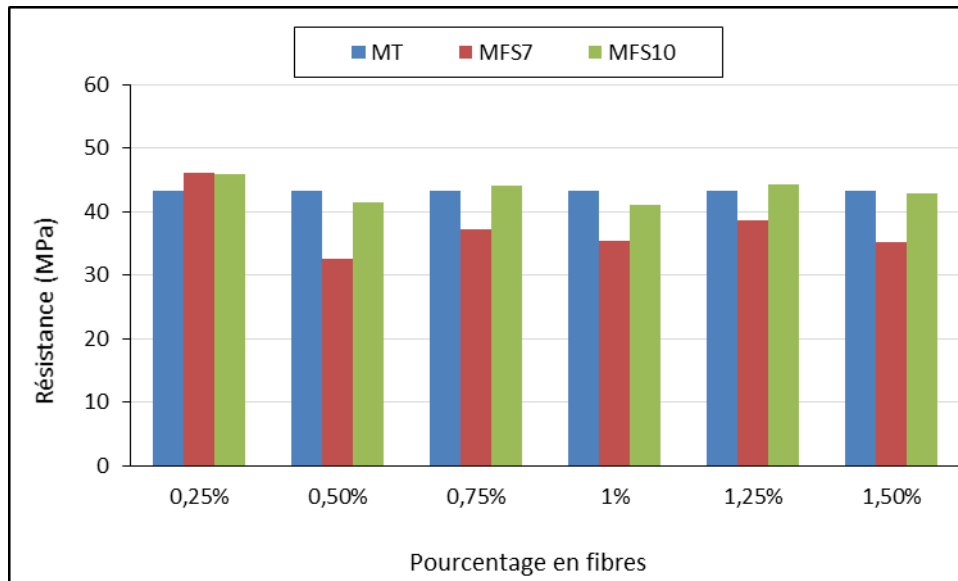


Figure IV.14 : Résistance en compression des mortiers étudiés.

Les résistances en compression des mortiers de fibres sisal de longueur 7 cm enregistre une baisse de résistance par rapport au mortier (MFS10) et mortier témoin (MT).. On constate que l'augmentation de résistance en compression est selon l'augmentation de la longueur et de dosage en fibres à quelques valeurs près où des pourcentages présentés des valeurs supérieures. En effet, quelques disparité sont constatées ceci est dû sûrement au mode de confection des éprouvettes (manipulation au laboratoire). Néanmoins, pour une longueur de 10 cm et un pourcentage de 1.25% on enregistre une contrainte de compression de 45,32 MPa contre une contrainte de compression du mortier témoin de 43,19 MPa. Cela peut être expliqué par l'augmentation de quantité en fibre qui sert à combler les vides entre les grains fins de ciment et augmenter la résistance mécanique à la compression.

Conclusion

Pour la résistance à la compression, nous remarquons que le gain de résistance est presque négligeable par rapport à la résistance du mortier témoin. Et cela est en accord avec la littérature. En effet, la majorité des auteurs rapportent que l'ajout des fibres végétales au béton ou au mortier n'améliore pas sa résistance à la compression. Contrairement en flexion où la présence des fibres dans le mortier marque une amélioration du comportement à caractère ductile.

CONCLUSION GENERAL

La problématique traitée dans ce travail concerne l'influence d'utilisation de la fibre végétale (sisal) sur la résistance mécanique d'un mortier.

Cependant, en ce qui concerne les problèmes de mise en œuvre des composites étudiés, en raison à la fois de la mauvaise dispersion des fibres dans la matrice cimentaire et aussi au caractère hydrophile des fibres naturelles; il est nécessaire d'utiliser des fibres courtes pour améliorer la dispersion des fibres pour leur assurer une bonne maniabilité.

- Chaque fois le pourcentage de fibre de Sisal augmente, les comportements de résistance à la flexion du mortier de fibre sisal offre une bonne résistance ;
- Le comportement en compression est directement lié au pourcentage et à la longueur de la fibre. La présence des fibres dans la matrice cimentaire ne présente pas une amélioration conséquente de la résistance en compressions. Ce constat a été déjà démontré par plusieurs auteurs.

Les perspectives de cette étude sont nombreuses le programme expérimental pourrait être complété par les études suivantes :

- Interactions mécanique aux interfaces entre les fibres végétales sisal et la matrice cimentaire (mortier),
- Etude technico-économique sur l'utilisation de ces fibres végétales d'un mortier.
- D'étudier le potentiel d'utilisation des pourcentages plus élevés avec la présence des additions et différents longueurs des fibres végétales.
- L'association de deux ou même plusieurs types de fibres dans un même mortier.
- Traitement des fibres avant incorporation aux différents mélanges.

Recherches bibliographiques :

- [1] HOUARI Hacéne «Contribution à l'étude de l'influence des différents ajouts sur les propriétés des matrices cimentaires (Caractérisation, Performances, Durabilité) », THESE , Doctorat en science en Génie Civil Option : Matériaux : *Soutenue le2009 ;1-3 -21-25p.*
- [2] M. Venuat, « La pratique des ciments, mortiers et bétons » Tome 1 : Caractéristiques des liants et des bétons, mise en œuvre des coulis et mortiers -édition2 – Collection Moniteur. -1989– 277p.
- [3]. Thomas Point. « Influence des hydroxypyrguars sur les propriétés du mortier de ciment à l'état frais » 27 juin 2014. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00936958/document>
- [4]. Ahmed Abdo Al-Eyani, « Valorisation du déchet de marbre et de verre comme additif dans la production du mortier », (Mémoire de Master), université de M'sila Année universitaire 2016/2017.
- [5].CHADI Lamis Rabiaa, « Étude de l'influence d'un adjuvant entraîneur d'air sur la rhéologie des mortiers », (Mémoire de Master), université de M'sila, Année universitaire 2016/2017.
- [6]. P. Sylver, « science des matériaux », université pierre et marie curie 2005, 2006
- [7].Mémoire ALMALEKI Abdulrahman caractérisation expérimentale des mortiers a base des dechats de briques **13 Juin 2018.**
- [8]. Mémoire des Effets des fibres végétales sur les propriétés physico-mécaniques du béton
- [9]. Mémoire ZANE Messaouda DJEMAA Nabila : Elaboration et caractérisation d'un mortier léger par introduction de billes de polystyrène.
- [10]. Fabien BETENE EBANDA Etude des propriétés mécaniques et thermiques du plâtre renforcé de fibres végétales tropicales 2012
- [11]. Rachedi mokhtar Contribution à l'étude de la durabilité de mortier de plâtre a la base de sable de dunes renforce par des fibre de palmier dattier
- [12].Source :<http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap4/site/html/4.html#4>
- [13]. Ms.Gc.Ziani-Kerarti+Billami Etat de l'art sur la formulation et le comportement du béton léger à base de microbilles de polystyrène expansé
- [14]. 45882_UMURIGIRWA_2014_archivage
- [15]. mémoire de DJELOUACHI HAYET: Influence des fibres végétales sur les propriétés physico-mécaniques d'un béton
- [16]. F. Michaud, "Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage" thèse Phd, univ Laval, 2003.

[17]. Zapata Massot Céline, « synthèse de matériaux composite par Co-broyage en voie sèche et caractérisation des propriétés physico-chimique et d'usage des matériaux », institut national polytechnique de Toulouse, décembre 2004.

[18]. K.Charle, C.morvan, J.Bréard, JP.Jernot, M.Gomina, "Etude morphologique d'un composite naturel la fibre de lin" revue des composites et des matériaux avancées, Vol16, pp11-24,2006.

[19]. C.Ververis, K.Georghiou, N.Christodoulakis, P. Santas, R.Santas." Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their Suitability for paper production. Industrial Crops and Products 19: 245–254, 2004

[20]. M.Nardin,"interface fibre-matrice dans les matériaux composites application aux fibres végétales", revue des composites et des matériaux avancés, Vol 16, pp 49-61, 2006.

[21]. M-GC.VOA-2019-11 :Effets des fibres végétales sur les propriétés physico-mécaniques du béton

[22]. assai de fabrication d'un matériau Composite : matrice polyester Renforcée de fibres de sisal

[23]. Mémoire RAMANAMBAHOAKA Haingonirina Alexandra Soutenu le 23 avril 2015 essai de fabrication d'un materiau composite : matrice polyester renforcee de fibres de sisal

[24]. Mémoire NANOOU Ikram & YOUSFI Hadjer Etude comparative sur les composites a Fibres du palmier dattier

[25].mémoire de Richard NTENGA 04 juillet 2007, modélisation multi-échelles et caractérisation de l'anisotropie élastique de Fibres végétales pour le renforcement de Matériaux composites

[26].Mémoire de ACHOUR Abderraouf Etude des performances des mortiers renforcés de fibres naturelles : valorisation des plantes locales le 18 / 12 / 2017

[27]. Mémoire de ZANE Messaouda et DJEMAA Nabila Elaboration et caractérisation d'un mortier léger par 2019

introduction de billes de polystyrène.

Références bibliographies :

[ABA 15] Abani S., Hafsi F., Kriker A., Bali A. (2015), "Valorisation of Date Palm Fibers in Sahara Constructions". *Energy Procedia*, Vol. 74, pp. 289-293.

ACI. (1996). Report on Fiber Reinforced Concrete (Reapproved 2009). American Concrete Institute.

AlKaabi, K., AlKhanbashi, A., & Hammami, A. (2005). Date palm fibers as polymeric matrix reinforcement: DPF/polyester composite properties. *polymer composites*, 26(5), 604-613.

AlKhanbashi, A., AlKaabi, K., & Hammami, A. (2005). Date palm fibers as polymeric matrix reinforcement: fiber characterization. *Polymer composites*, 26(4), 486-497.

[11] Taha, I., Steuernagel, L., & Ziegmann, G. (2007). Optimization of the alkali treatment process of date palm fibres for polymeric composites. *Composite Interfaces*, 14(7-9), 669-684.

Alawar, A., Hamed, A. M., & Al-Kaabi, K. (2009). Characterization of treated date palm tree fiber as composite reinforcement. *Composites Part B: Engineering*, 40(7), 601-606.

[13] AlKaabi, K., AlKhanbashi, A., & Hammami, A. (2005). Date palm fibers as polymeric matrix reinforcement: DPF/polyester composite properties. *polymer composites*, 26(5), 604-613.

Agoudjil et al. [1], [1] 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

[AND 79]: R. Andonian, Y.W. Mai ET B. Cottrell, "Strength and fracture properties of cellulose fiber reinforced cement composites", *Journal of Cement Composites*, pp. 151-158, 1979

[BOU 02]: P, Boustingorry, "Élaboration d'un matériau composite à matrice gypse renforcé par bois fragmenté -amélioration de la résistance au vissage de produits préfabriqué en gypse," thèse de doctorat de l'école Nationale Supérieure des Mine de Saint Etienne, Génie des procédés, 2002

Djoudi Amina., Khenfer Mohammed Mouldi., and Bali Abderrahim. Etude d'un nouveau composite en plâtre renforcé avec des fibres végétales du palmier dattier. In *SBEIDCO 1st International Conference on sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria)*, October 12-14 2009.

[GOU 06]: F.Gouanvé, S.Marais, M. Métayer, 'composites polyester insaturé renforcés par des fibres de lin', *composites et matériaux avancées*, Vol.16, pp.117.128, 2006.

[LAU 06]: F.Laurans, A.Déjardin, J.Pilate, "Physiologie de la formation des parois de fibres de bois", *composites et matériaux avancés*, Vol.16, pp.27-39,2006.

[LER 15] Lertwattanaruk P., Suntijitto A. (2015), “Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications”. *Construction and Building Materials*, Vol. 94, pp. 664-669.

Magniont, C. (2011). Contribution à la formulation et à la caractérisation d’un écomatériau de construction à base d’agroressources (PhD thesis). Université Paul Sabatier - Toulouse III, Toulouse, France.

[SAV 00]:J.H. Savastano, P.G. Warden et R.S.P. Coutts, “Brazilian waste fibers as reinforcement for cement-based composites”, *Cement and Concrete Composites*, pp. 379-384, 2000.

Savastano, H., P. G. Warden, et R. S. P. Coutts. (2005). Microstructure and mechanical properties of waste fibre–cement composites. *Cement and Concrete Composites* 27, 583-592.

Sedan, D. (2007). Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment - Influence sur les propriétés mécaniques du composite (Thèse de doctorat). Université de Limoges, Limoges, France.

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.

Taha, I., Steuernagel, L., & Ziegmann, G. (2007). Optimization of the alkali treatment process of date palm fibres for polymeric composites. *Composite Interfaces*, 14(7-9), 669-684.

[12] Alawar, A., Hamed, A. M., & Al-Kaabi, K. (2009). Characterization of treated date palm tree fiber as composite reinforcement. *Composites Part B: Engineering*, 40(7), 601-606.