

Université Mohamed Chérif Messadia
Souk Ahras
Mohamed Chérif Messadia University
Souk-Ahras



جامعة محمد الشريف مساعديّة
سوق أهراس

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

EFFET DE LA NATURE DES FIBRES SUR LES PROPRIETES DES MATERIAUX COMPOSITES

Filière
Génie Civil

Spécialité : Matériaux

PAR
ROUAIBIA NADJLA

Devant le jury

ENCADREUR :	Dr. SALHI KAMEL	MCB	U. SOUK-AHRAS
PRESIDENT:	Dr. Madjour ABDELHALIM	MCB	U. SOUK-AHRAS
EXAMINATEUR :	Dr. KERMICH SIHAM	MCB	U. SOUK-AHRAS

Année 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

«وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى

اللَّهُ عَمَلَكُمْ»

REMERCIEMENT :

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude envers Dieu, tout-puissant, pour sa clémence, sa grâce et sa présence réconfortante à nos côtés, ainsi que pour la force qu'il nous a octroyée.

Nous tenons à adresser un remerciement particulier à notre encadrant, Dr. Kamel Salhi pour la patience exemplaire qu'elle a su manifester à notre égard, pour les précieuses informations qu'elle a partagées avec nous et, surtout, pour la confiance qu'elle a placée en nos capacités.

Nos remerciements s'étendent également à tous les professeurs, enseignants, encadrants, administrateurs et responsables du département de Génie Civil de l'université Mohamed Cherif Messaadia de Souk Ahras. Leur soutien a été inestimable tout au long de notre parcours.

Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance à M. Belaichi Med Taher responsable du laboratoire pédagogique, ainsi qu'à Sabri Rehaïlia pour leur aide précieuse.

Enfin, alors que nous concluons notre cursus universitaire, nous tenons à remercier sincèrement toutes celles et tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à enrichir nos connaissances et à nous préparer pour notre future vie professionnelle.

DÉDICACE

« À mon père et ma mère, qui ont planté en moi l'amour de la science et de la connaissance, et à mes frères et sœurs qui ont toujours été mes partenaires dans ce voyage, et à mes amis qui ont été une source d'inspiration pour moi, je dédie ce travail modeste. Vous avez toujours été une source de soutien et de motivation pour moi, et vous m'avez offert tout ce dont j'avais besoin pour réaliser mes rêves. Merci pour chaque moment d'amour, de soutien et de générosité. Je dédie également ce travail à tous ceux qui ont contribué à ma réussite, que ce soit par leur soutien matériel ou moral. J'espère avoir pu rendre une partie de la gratitude que je vous dois, et être un bon modèle pour les autres. Ce travail est le fruit de vos efforts collectifs, et j

'espère qu'il trouvera une place dans vos cœurs. »

Résumé

Grâce à ces caractéristiques optimisées, le mortier fibré est devenu un matériau de choix dans la construction moderne, tout en contribuant à la protection de l'environnement. Les fibres végétales, peuvent fournir des propriétés de renforcement similaires à celles du composite classique renforcé en acier ou en polypropylène. L'objectif principal est d'étudier le comportement mécanique et physique de mortiers renforcés par différents types de fibres. Dans ce contexte, trois types de fibres ont été étudiés, deux types végétaux (sisal et d'alfa), et un type fibres synthétiques (polypropylène) avec des proportions (0,5 %, 0,75 %, 1 %, 1,5 %). Des essais physiques et mécaniques de compression et de traction par flexion ont démontré que les composites renforcés par des fibres de sisal et polypropylène présentent une densité légèrement plus faible que le composite témoin avec une augmentation légère de la densité pour le composite contenant de fibre alfa, et une résistance à la compression inférieure à celle du composite seul, et de résistance à la traction par flexion comparable voire supérieur à celle de composite témoin. Cependant, les fibres améliorent le comportement à la rupture, ainsi que la réduction du retrait du composite.

Mots clés : fibres végétales, matériaux composite, résistance, fibres synthétiques

Abstract

Thanks to these optimized properties, fiber mortar has become a material of choice in modern construction, while contributing to environmental protection. Plant fibers can provide reinforcement properties similar to those of traditional composite materials reinforced with steel or polypropylene. The main objective is to study the mechanical and physical behavior of mortar reinforced with different types of fibers. In this context, three types of fibers were studied, two plant-based types (sisal and alfa), and one type of synthetic fiber (polypropylene) at ratios (0.5%, 0.75%, 1%, 1.5%). Physical and mechanical tests for compression and flexural strength showed that composite materials reinforced with sisal and polypropylene fibers have a slightly lower density than the control composite, with a slight increase in density for the composite containing alfa fibers, lower compressive strength than the composite alone, and comparable or even higher flexural strength than the control composite. However, the fibers improve their behavior at break and reduce the shrinkage of the composite material.

Keywords : Plant fibers, composite materials, resistance, synthetic fibers.

ملخص:

بفضل هذه الخصائص المحسنة، أصبح ملاط الألياف مادةً مُفضَّلةً في البناء الحديث، مع مساهمته في حماية البيئة. يمكن للألياف النباتية أن توفر خصائص تقوية مماثلة لتلك الموجودة في المواد المركبة التقليدية المُقوّاة بالفولاذ أو البولي بروبيلين. الهدف الرئيسي هو دراسة السلوك الميكانيكي والفيزيائي للملاط المُقوّى بأنواع مختلفة من الألياف. في هذا السياق، تمت دراسة ثلاثة أنواع من الألياف، نوعان نباتيان (السيزال والألفا)، ونوع واحد من الألياف الاصطناعية (البولي بروبيلين) بنسب (0.5%، 0.75%، 1%، 1.5%). أظهرت الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للضغط والشد عن طريق الانتشاء أن المواد المركبة المُقوّاة بألياف السيزال والبولي بروبيلين لها كثافة أقل قليلاً من المادة المركبة الشاهدة مع زيادة طفيفة في الكثافة للمادة المركبة التي تحتوي على ألياف ألفا، ومقاومة ضغط أقل من مقاومة المادة المركبة وحدها، ومقاومة شد عن طريق الانتشاء مماثلة أو حتى أعلى من مقاومة المادة المركبة الشاهدة. ومع ذلك، تحسّن الألياف سلوكها عند الكسر، وتقلل من انكماش المادة المركبة.

الكلمات المفتاحية: ألياف نباتية، مواد مركبة، مقاومة، ألياف اصطناعية.

Sommaire

Remerciement .

Dédicace

Résumé

Abstract

ملخص

Table des matières

Liste des Tableaux

Liste des figures

Introduction générale

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1. Introduction	03
I.2. Les matériaux composites	03
I.2.1. Définition	03
I.2.2. Classification des matériaux composites	04
I.2.2.1. Classification suivant la forme des constituant	04
I.2.2.2. Selon la nature des constituants	05
I.2.3. Les domaines d'utilisation	05
I.2.4. Avantages et inconvénients des composites	06
I.3. Les mortiers	06
I.3.1. Définition	06
I.3.2. Constituants des Mortiers	08
I.3.3. Différents types des mortiers	10
I.3.4. Le rôle d'utilisation de mortier	10
I.4. Les fibres	10
I.4.1. Définition	10
I.4.2. Les types de fibres	10
I.4.2.1. Les fibres synthétiques	11
I.4.2.2. Les fibres métalliques	11
I.4.2.3. La fibres naturelle	12
I.4.2.4. Les fibres végétale	12
I.4.3. Le rôle des fibres	19
I.5. Conclusion	21

Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodes expérimentales

II.1.Introduction	23
II.2. Les normes utilisées	23
II.2.1. Les normes utilisées pour les essais physiques	23
II. 2. 2. Les normes utilisées pour les essais mécaniques	23
II.3. Matériaux utilisés	23
II.4. les essais physiques	27
II.5.essai du mortier	33
II.5.1 Composition du mortier	33
II.5.2 Composition du mortier fibré	33
II.5.3. Malaxage de mortier	33
II.5.4.Essai réalisés a l'état frais	34
II.5.5.Essai réalisés a l'état durci	35
II .6 .Conclusion	39

Chapitre III : Résultats et interprétations

III.1. Résultats et Interprétations	41
III.2. Caractérisation frais des composites étudié	41
III.3 Caractérisation du Composite durci	42

Liste des Tableaux

Tableau.I.1: Composition chimique de quelques fibres végétales	14
Tableau.I.2: Propriétés mécaniques des fibres naturelles	15
Tableau.1.3: Avantages et inconvénients des fibres naturelles	19
Tableau.II.1: Composition chimique du ciment	24
Tableau.II.2: Caractéristiques physiques du ciment	24
Tableau.II.3 : Caractéristiques de super plastifiant	24
Tableau.II.4: Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable	28
Tableau.II.5: les résultats de l'essai d'équivalence pour le sable	28
Tableau.II.6: Analyse granulométrique du Sable naturel	29
Tableau.II.7: Classification du sable suivant les valeurs de module de finesse	30
Tableau.II.8: les résultats de l'essai la masse volumique apparent	32
Tableau.II.9: les résultats de l'essai la masse volumique absolue	32
Tableau.III.1: l'effet des fibres de sisal,Alfa et polypropylènes sur l'mesure de retrait de mortier	48

Liste des figures

Figure.I.1: matériau composite	03
Figure.I.2: Classification des matériaux composites	05
Figure.I.3: le ciment	07
Figure.I.4: sable de construction	07
Figure.I.5: mortier de ciment préparé	08
Figure.I.6: mortier colle :exemple d'application	09
Figure.I.7: Les fibres synthétiques	11
Figure.I.8: Les fibres polypropylènes	11
Figure.I.9: Les fibres métalliques	12
Figure.I.10: Les couche micro-fibrille cellulosiques en partie cristalline	13
Figure.I.11: Images de l'arbuste de Genét d'Espagne	16
Figure.I.12: Fibres de L'alfa	17
Figure.I.13: Coupes transversales de la feuille d'alfa : (a) niveau le plus bas ;(b) niveau médian (c) niveau supérieur	18
Figure.I.14: Les plantes de sisal (a) et les fibres de sial (b) (Sources Internet)	18
Figure.I.15: Apport des fibres sur le comportement post fissuration du béton	20
Figure.I.16: Fissuration dans le béton sans et avec fibres	20
Figure.II.1 : ciment utilisé	24
Figure.II.2 : Sable de dune utilisé	25
Figure.II.3: fibres de sisal	25
Figure.II.4 : fibres d'alfa	26
Figure.II.5 : fibres polypropylène	26
Figure.II.6: Equipements de l'essai	29
Figure.II.7: Courbe granulométrique de sabla utilisé	30
Figure.II.8: Série de tamis et table de vibration	31
Figure.II.9: essai Masse volumique (absolue et apparent)	32
Figure.II.10 : Malaxeur de mortier	34
Figure.II.11 : mélange manuellement d'un mortier	34
Figure.II.12: moulage des éprouvettes	34
Figure.II.13: Essai d'étalement à la table à secousses	35
Figure.II.14: La masse de éprouvette	35
Figure.II.15: Essai de traction par flexion sur des éprouvette	36
Figure.II.16: Essai de compression sur des éprouvettes	37
Figure.II.17: Essai d'ultrason sur des éprouvettes	38
Figure.II.18 : Mesure de retrait sur des éprouvettes	38
Figure.III.1: l'effet des fibres de sisal, Alfa et polypropylènes sur la maniabilité de mortier	42
Figure.III.2: l'effet des fibres de sisal ,Alfa et polypropylènes sur la densité de mortier	43
Figure.III.3: Effet fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur la résistance à la flexion à 7jours	44
Figure.III.4 : Effet fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur la résistance à la flexion à 28jours	44
Figure.III.5: Effet fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur la résistance à compression à 7jours	45

Figure.III.6: Effet fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur la résistance à la flexion à 28jours	46
Figure.III.7: Effet fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur la vitesse de propagation d'ondes à 28jours	46
Figure.III.8: Effet fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur l'absorption totale d'eau	47

A decorative border in a light green color, shaped like a scroll. It has rounded corners and a vertical strip on the left side that looks like the edge of a scroll. There are three grey circular accents: one at the top right corner, one at the top left corner, and one at the bottom left corner.

Introduction générale

Introduction générale :

Le développement du mortier fibré représente une innovation importante dans le domaine des matériaux de construction, car il renforce les propriétés du mortier et améliore ses performances globales. L'un des principaux avantages de l'ajout de fibres, qu'elles soient naturelles ou synthétiques, est l'augmentation de la résistance du mortier aux fissures, car les fibres contribuent à répartir les contraintes de manière homogène à l'intérieur du matériau, réduisant ainsi la probabilité de fissuration. Grâce à ces développements, le mortier fibré est utilisé dans une variété d'applications, allant de la construction moderne à la restauration de structures anciennes, ce qui en fait un choix idéal pour les projets de construction durable.

Dans cette mémoire, nous examinerons l'impact de la nature des fibres dans le matériau composite, sous plusieurs aspects tant mécaniques (résistance à la compression, traction par flexion et ultrason) et physiques (absorption d'eau totale, et de retrait). Dans cette étude, nous nous intéresserons spécifiquement aux fibres, végétales (sisal et Alfa l'une des ressources végétales les plus abondantes en Algérie, et de fibres synthétiques (polypropylène).

Dans ce contexte, ce manuscrit s'articule autour de trois chapitres :

- **Le premier chapitre**, structuré en deux sections, est consacré à une revue de la littérature sur les matériaux composite. La première section examine les types de fibres leurs propriétés physiques et chimiques.
- **Le deuxième chapitre** est également divisé en deux parties distinctes. La première partie compile les données sur la caractérisation des matériaux utilisés ainsi que les différentes techniques expérimentales employées. La deuxième partie se concentre sur les protocoles expérimentaux relatifs à la formulation et à la détermination des caractéristiques physico-mécaniques de composite renforcés végétales (sisal et d alfat) et synthétiques (polypropylène).
- **Le troisième chapitre** présente les résultats des caractérisations. Il inclut les données obtenues des essais de compression simple, des essais de flexion à trois points, des mesures par ultrasons, ainsi que les résultats relatifs à l'absorption et de retrait. Les résultats sont illustrés par, des histogrammes et des tableaux afin de permettre une analyse approfondie.



Chapitre I :

Etude bibliographique

I.1. Introduction :

Les matériaux composites sont caractérisés par des propriétés mécaniques élevées, et ils ont également la capacité d'être façonnés selon des besoins spécifiques, ce qui ouvre la porte à des possibilités infinies dans le domaine de la conception et de la fabrication. Aujourd'hui, ils connaissent des développements rapides dans divers secteurs, ce qui les rend un aspect fondamental de la réalisation d'un progrès technologique élevé. [1]

Dans ce chapitre, nous allons découvrir des généralités sur les matériaux composites, ainsi que sur les fibres et le mortier, car ils forment un matériau composite appelé mortier fibré.

I.2. Les matériaux composites :

I.2.1. Définition :

Les matériaux composites sont des produits résultant de la combinaison d'au moins deux éléments : l'un servant de renfort, l'autre agissant comme liant ou matrice. Ces matériaux peuvent être composés de plus de deux constituants de base, et se caractérisent par le fait que leurs composants ne sont pas miscibles, mais coopèrent au sein d'une structure unique. La quantité, la répartition et l'orientation des renforts, ainsi que le choix de la matrice, jouent un rôle fondamental dans la conception et le développement du matériau. Il est donc essentiel d'optimiser ces paramètres afin d'obtenir une performance optimale et une amélioration continue du produit final. [2]

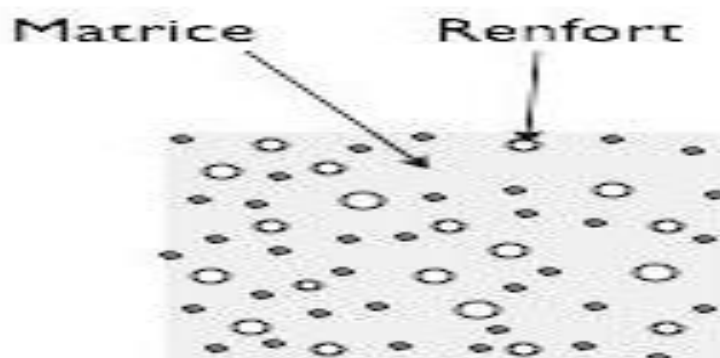


Figure .I.1 : matériau composite

a) **Matrice :**

La matrice joue un rôle crucial dans un matériau composite en répartissant les charges appliquées, en intégrant et en protégeant le renfort, tout en conférant la forme désirée au produit. Dans de nombreux cas, la matrice est constituée d'une résine polymère, qui se décline en plusieurs types, chacun étant adapté à des applications spécifiques. [3]

b) Renfort :

C'est la structure qui apporte la résistance à la traction et la rigidité (matériau solide). En général, elle est composée de fibres, qu'elles soient courtes ou longues, dans le cas des matériaux composites en fibres.[4]

I.2.2.Classification des matériaux composites :

Les matériaux composites sont classés selon deux critères :

I.2.2.1.Classification suivant la forme des constituant :

Il existe deux familles principales :

I.2.2.1.1.Composites à particules :

Lorsque les particules sont la forme principale de renfort dans un matériau composite, ce matériau est connu sous le nom de composite particulaire. Les particules sont utilisées dans ces composites pour améliorer des propriétés spécifiques telles que la rigidité et la résistance, ou comme charges pour réduire les coûts. L'utilisation de particules permet de concevoir des matériaux avec des propriétés spécifiques adaptées à différentes applications.[5]

I.2.2.1.2.Composites à fibres :

Un matériau composite est considéré comme un composite à fibres lorsque le renfort est sous forme de fibres, qui peuvent être continues ou discontinues, courtes ou coupées. La disposition et l'orientation des fibres permettent de contrôler les propriétés mécaniques du matériau, ce qui permet de concevoir des matériaux avec des propriétés spécifiques. En raison de l'importance de ces matériaux, l'étude de leur comportement mécanique est essentielle. [5]

I.2.2.1.3.Structuraux :

a) Les sandwichs :

Ce matériau est composé de deux couches externes minces et rigides, généralement en cuir ou en cuir tanné, qui entourent un noyau épais à faible résistance. Cette structure confère au matériau une grande légèreté avec une résistance élevée à la flexion, ainsi qu'une excellente isolation thermique.[3]

b) Stratifiés :

Les plaques sont constituées de plusieurs couches monolithiques, chacune ayant une orientation spécifique par rapport au référentiel commun. Ces couches sont conçues avec précision pour atteindre les propriétés souhaitées dans les plaques, telles que la résistance, la rigidité et la durabilité.[3]

I.2.2.2.Selon la nature des constituants :

Les matériaux composites sont classés en trois types principaux en fonction de la nature de la matrice : les composites à matrice organique, les composites à matrice métallique et les composites à matrice céramique. Des renforts différents sont associés à ces matrices, mais actuellement, seuls certains couples spécifiques de combinaisons ont des applications industrielles, tandis que d'autres sont en cours de développement dans les laboratoires de recherche.[5]

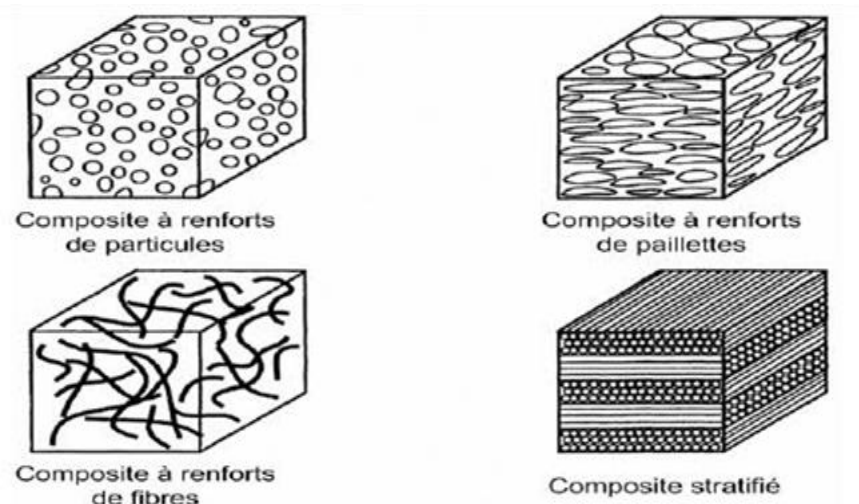


Figure.I.2 : Classification des matériaux composites

I.2.3.Les domaines d'utilisation :

- **Électricité et électronique** : Utilisés pour des composants légers et résistants.
- **Bâtiment et travaux publics** : Intégrés dans les structures pour leur durabilité et leur légèreté.
- **Transports** :
 - Amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules.
 - Allègement des wagons pour des performances accrues.
 - Utilisés dans la construction de coques de navires.
 - Essentiels pour la fabrication d'avions légers et robustes.
 - Cruciaux pour la fabrication de satellites et d'engins spatiaux.
- **Santé (instrumentation médicale)** : Employés dans la fabrication d'instruments légers et précis.[6]

I.2.4. Avantages et inconvénients des composites :

I.2.4.1. Avantages :

- **Légèreté** : Contribue à réduire le poids des structures.
- **Résistance à la fatigue** : Prolonge la durée de vie du matériau.
- **Haute résistance** : Supporte l'humidité, la chaleur et la corrosion.
- **Résistance chimique** : Peu sensible à de nombreux produits chimiques.
- **Flexibilité de conception** : Permet de créer facilement des pièces complexes.
- **Résistance au feu** : Offre un bon niveau de protection contre les incendies.

I.2.4.2. Inconvénients :

- **Coûts élevés** : Les matières premières et les processus de fabrication sont coûteux.
- **Sensibilité à la chaleur** : Peut rencontrer des problèmes dans certaines conditions.
- **Gestion des déchets** : Défis dans la gestion des déchets générés par leur utilisation.
- **Réglementations strictes** : Augmentation des lois et règlements régissant leur utilisation. [7]

I.3. Les mortiers :

I.3.1. Définition :

Le mortier est un matériau de construction flexible, résultant du mélange de liants, de sable et d'eau, et parfois d'adjuvants, dans des proportions définies avec précision pour atteindre une viscosité appropriée pour l'utilisation. Il est utilisé pour lier les différents éléments de construction tels que les briques, les pierres et les blocs de béton, ou pour créer des couches de revêtement et des finitions extérieures durables et résistantes. [8]

I.3.2. Constituants des Mortiers :

Les composants de base des mortiers sont :

a) Le Liant :

Les liants hydrauliques sont un composant essentiel dans de nombreuses applications de construction. Ces matériaux comprennent le ciment, qui est composé d'un mélange de silicates et d'aluminates, ainsi que de la chaux obtenue par cuisson. Les options courantes incluent. [9]

- ✓ Le ciment standard, qui est disponible en différentes nuances de couleur.
- ✓ Le ciment spécial, qui comprend des types tels que le ciment alumineux fondu et le ciment rapide.
- ✓ Les liants pour la construction, qui sont utilisés pour la construction de bâtiments et de structures.
- ✓ La chaux hydraulique naturelle, qui est obtenue à partir de sources naturelles.
- ✓ La chaux éteinte, qui est obtenue par un processus d'extinction.



Figure .I.4 : le ciment

b) Le sable :

Le sable est un matériau solide composé de petites particules résultant de la désagrégation de matériaux minéraux ou organiques. Le sable se caractérise par sa composition minérale variée, qui peut inclure le quartz, le mica et le feldspath. Les sables sont classés en trois types principaux selon leur origine :

- **Le sable de rivière** : il est obtenu à partir des rivières et se caractérise par sa dureté et sa propreté.
- **Le sable de mer** : il provient des côtes marines et nécessite un lavage pour éliminer le sel avant son utilisation dans le béton.
- **Le sable de carrière** : il contient de l'argile qui empêche les grains de s'agglomérer avec les liants. [10]



Figure .I.5 : sable de construction

c) L'eau de gâchage :

L'eau est un élément vital dans la composition des mortiers, où elle contribue à fournir la maniabilité et à contrôler les propriétés physiques des mortiers pendant la construction, en plus d'activer le processus d'hydratation du ciment. La quantité d'eau utilisée a une influence significative sur la porosité, la perméabilité et la cinétique d'hydratation du ciment. Les sources d'eau peuvent être diverses, mais seule l'eau potable est considérée comme conforme aux normes NF EN 1008. Les autres sources d'eau doivent être soumises à des essais de contrôle préliminaires avant leur utilisation dans la construction, où les normes NF EN 1008 définissent les critères précis d'aptitude à l'emploi de l'eau dans la construction. [11]•[12]

I.3.3. Différents types des mortiers :

a) Les mortiers de ciment :

Le mortier de ciment à haute résistance se distingue par une résistance exceptionnelle et une prise rapide, mais il est cependant affecté par un retrait plus prononcé. [13]



Figure .I.6 : mortier de ciment préparé

b) Le mortier-colle :

Il existe un type de mortier appelé mortier-colle, qui est un matériau de construction unique permettant de coller des revêtements sur les murs ou les sols avec précision. Ce type de mortier est utilisé pour coller des plaquettes de parement, des carrelages muraux ou au sol, ou encore des dalles, et peut être utilisé à l'intérieur et/ou à l'extérieur, selon le type choisi. [14]



Figure .I.7: mortier colle: exemple d'application

c) Les mortiers de chaux :

Les mortiers de chaux possèdent une texture dense et crémeuse. Ils se solidifient lentement, notamment lorsque la chaux est de nature calcique. [13]

d) Mortier rapide :

Ce produit est fabriqué à partir d'un ciment à haute vitesse de prise, ce qui le rend parfait pour les applications de scellement en raison de sa rapidité et de sa solidité.[15]

e) Mortier réfractaire :

Il est fabriqué avec du ciment thermique robuste, qui se caractérise par sa capacité à supporter des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et des barbecues. [15]

f) Mortier industriel :

Ces mortiers sont préparés à partir de composants secs sélectionnés avec précision, et conditionnés en sacs prêts à l'emploi. Ils se caractérisent par une qualité élevée et une durabilité exceptionnelle, et sont soumis à un contrôle strict en usine. Pour les utiliser, il suffit d'ajouter la quantité appropriée d'eau et de les malaxer soigneusement, puis de les appliquer sur le site. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits qui répondent à tous les besoins et exigences de la construction et du bâtiment.[15]

- ✓ 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.....
- ✓ Mortier de réparation.

I.3.4.Le rôle d'utilisation de mortier :

La pâte plastique obtenue peut jouer un rôle crucial dans la construction, en :

- ✓ Assurant la liaison et la cohésion entre les éléments de construction, pour garantir la solidité et la durabilité de l'ouvrage.
- ✓ Protégeant les constructions contre les intempéries et l'humidité, pour prévenir les dommages et les dégradations.
- ✓ Formant des couches protectrices aériennes, pour améliorer l'étanchéité et la résistance aux éléments.
- ✓ Créant des écrans étanches, pour empêcher la pénétration de l'eau et des substances nocives.
- ✓ Constituant des chapes d'usure, pour améliorer la résistance et la durabilité des surfaces.
- ✓ Fabriquant des blocs manufacturés, carreaux, tuyaux et divers éléments moulés, pour répondre aux besoins de la construction.
- ✓ Jouant le rôle de constituant essentiel du béton, pour garantir la solidité et la durabilité des structures.
- ✓ Consolidant certains sols de fondations, pour améliorer la stabilité et la sécurité des constructions. [16]

I.4.Les fibres :

I.4.1.Definition :

Le terme fibre se réfère à un corps solide flexible, de nature variable, caractérisé par des formes cylindriques approximatives, avec un diamètre de quelques millimètres et une longueur équivalente à plusieurs milliers de fois ce diamètre. Ce terme est généralement utilisé dans la fabrication de textiles pour définir le constituant élémentaire des structures textiles.[17]

I.4.2.Les types de fibres :

I.4.2.1.Les fibres synthétiques :

Les fibres synthétiques, dérivées de polymères organiques, résultent des avancées dans les secteurs pétrochimique et textile. Parmi les fibres les plus résistantes figurent les polyoléfinés, le polypropylène, le polyéthylène, le nylon et les fibres de carbone.

Ces fibres peuvent être intégrées à la pâte de ciment sans provoquer de réactions chimiques ni subir de corrosion. Leur allongement à la rupture, qui se situe entre 15 et 20 %, améliore la ductilité du béton. Cependant, il est important de noter que les fibres synthétiques à base de plastiques présentent une faible résistance au feu, avec une température de fusion d'environ 160°C, au-delà de laquelle elles deviennent molles et perdent leurs propriétés. On peut classer les fibres synthétiques en deux catégories selon leur taille : les microfibres et les macro-fibres. [18]



Figure .I.8: Les fibres synthétiques

a)Les fibres polypropylènes :

Les fibres se présentent généralement en faisceaux qui, une fois introduits dans le malaxeur, se séparent et se répartissent dans la masse du béton. Les fibres polypropylènes renforcent la résistance aux chocs, à l'écaillage et limitent les risques de fissuration liés au retrait dans les premiers âges du béton. De plus, leur ajout n'affecte pas la maniabilité du béton, mais tend même à l'améliorer. Ces fibres sont couramment utilisées dans le secteur du bâtiment, notamment pour la réalisation de panneaux décoratifs, de revêtements de façades, ainsi que de tuyaux et de pieux.[19]



Figure .I.9: Les fibres polypropylènes

I.4.2.2.Les fibres métalliques :

Les fibres métalliques, incluant les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, sont au cœur de nombreuses recherches à l'échelle mondiale. Parmi celles-ci, les fibres d'acier se distinguent par leur large utilisation dans le domaine du génie civil. En effet, les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres dépendent fortement de la résistance d'adhésion entre la fibre et la matrice.

Pour améliorer cette adhérence, les fabricants de fibres d'acier ont exploré diverses techniques, notamment en modifiant la texture de surface des fibres. Cela a conduit à une grande variété de fibres, qui se différencient par leur diamètre, leur forme (ronde, carrée, rectangulaire), leur longueur et leurs méthodes de fabrication.[20]



Figure .I.10: Les fibres métalliques

I.4.2.3.La fibres naturelle :

Les fibres naturelles ont été exploitées dans la fabrication de composites depuis plus de 3000 ans, comme en témoigne leur utilisation dans l'ancienne Égypte, où la paille était mélangée à de l'argile pour ériger des murs. Au cours des dix dernières années, l'intérêt pour les composites renforcés de fibres naturelles a considérablement augmenté, tant dans le milieu académique que dans diverses industries. Il existe une vaste gamme de fibres naturelles disponibles, pouvant servir à la fois de renforcement et de charges dans les matériaux composites.[21]

I.4.2.4.Les fibres végétale :

I.4.2.4.1.Définition :

Les fibres végétales sont des matériaux filamenteux dérivés de la biomasse, pouvant être extraites des fruits, des tiges ou des feuilles de diverses plantes, arbustes et herbes. Elles sont souvent transformées en fils et cordes, puis tissées, tricotées ou tressées pour créer des textiles essentiels à notre société.

La diversité des fibres végétales est notable, car elle varie considérablement selon leur origine. En effet, les dimensions des filaments dépendent non seulement de l'état de maturité de la plante, mais aussi des conditions environnementales dans lesquelles elle a poussé.

Il est important de noter que le diamètre des fibres peut varier largement le long d'une même fibre. De plus, ces fibres se distinguent par l'épaisseur variable de leurs parois cellulaires, qui est influencée par leur porosité. La morphologie des fibres végétales joue également un rôle

crucial dans la compréhension du transfert de contraintes entre les interfaces fibre-matrice.[22]

I.4.2.4.2. Structure d'une fibre végétale :

La fibre végétale constitue un matériau composite en elle-même, où le renfort est formé par des couches de micro-fibrilles de cellulose, principalement dans sa forme cristalline. Ces micro-fibrilles sont entourées d'une matrice polysaccharidique amorphe, composée d'hémicellulose et de pectine, qui s'associe à la lignine par des liaisons hydrogène et covalentes. La structure de la fibre végétale se compose de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre, superposées radialement. Ces parois incluent la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire, qui encadrent un lumen dont le diamètre varie selon les espèces. La paroi secondaire est elle-même constituée de trois couches de micro-fibrilles nommées S1, S2 et S3.[23]

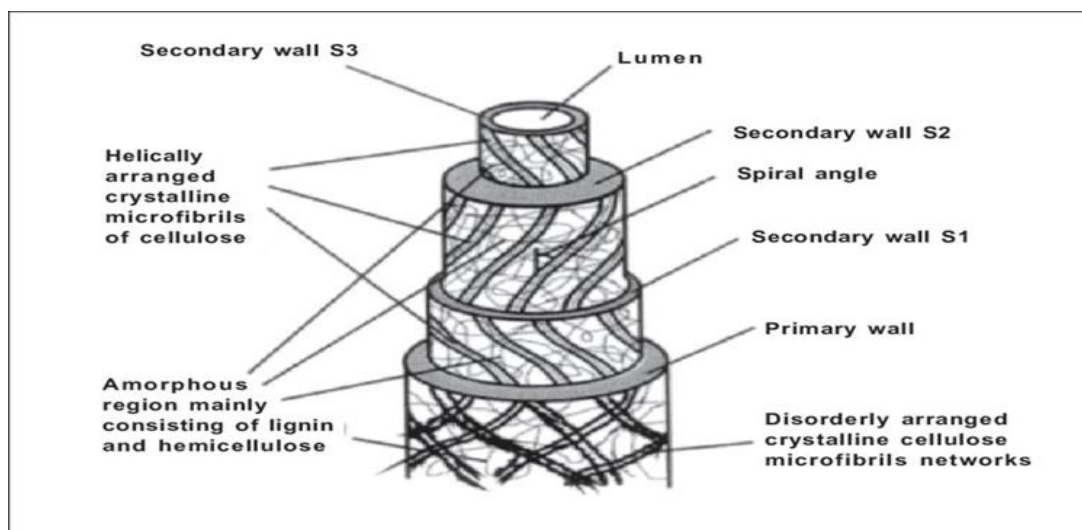


Figure .I.11 : Les couche micro-fibrille cellulosiques en partie cristalline

I.4.2.4.3. Composition chimique des fibres végétales

Les fibres lignocellulosiques se composent d'un réseau complexe de macromolécules, dont les principaux éléments sont la cellulose, les lignines et les hémicelluloses. Une compréhension approfondie de la composition chimique de ces composants est essentielle pour appréhender leur influence sur les propriétés des fibres végétales.[24]

➤ Cellulose :

La cellulose est le principal constituant des fibres végétales, agissant comme un polymère naturel fondamental. En général, les fibres végétales sont constituées de longues chaînes de cellulose qui confèrent rigidité et résistance.[25]

➤ Hémicellulose :

Présente dans toutes les parois des fibres, l'hémicellulose est un polysaccharide à chaînes courtes, ramifiées et repliées. Elle joue un rôle crucial dans l'élasticité des fibres, permettant aux parois de s'étirer durant la croissance des plantes.[25]

➤ Lignine :

La lignine agit comme un liant qui unit les fibres végétales entre elles ainsi que leurs parois. Ce polymère tridimensionnel est le résultat de la copolymérisation de trois alcools phénylpropéniques, conférant aux fibres une résistance accrue et une protection contre la décomposition.[25]

Un tableau présentant la composition chimique de diverses fibres végétales (comme celles de la noix de coco, du sisal, du jute et du palmier dattier) pourrait illustrer les différences dans la proportion de ces composants et leur impact sur les caractéristiques des fibres.

Tableau . I.1: Composition chimique de quelques fibres végétales

Compositions(%)				
Fibres	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	--	--
Palmaire dattier	1,2	41-45	6-10	30-40

I.4.2.4.4. Propriétés mécaniques de la fibre végétale :

Les fibres végétales telles que le coton, le jute, le chanvre, le lin, le sisal, le kénaf, la noix de coco, l'abaca et le bois sont principalement constituées de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine. La cellulose, en tant que polymère, possède une structure largement cristalline, ce qui lui confère un module d'élasticité d'environ 136 GPa, tandis que les fibres de verre affichent un module de 75 GPa. Les fibres végétales peuvent être considérées comme des matériaux composites renforcés par des fibrilles de cellulose, où la matrice est principalement constituée d'hémicellulose et de lignine.

Les fibrilles de cellulose s'organisent en hélice selon un angle appelé « angle micro-fibrillaire », qui est défini par la relation entre les fibrilles et l'axe de la fibre. La valeur de cet angle influence la rigidité de la fibre. Les propriétés des fibres naturelles suscitent souvent des débats en raison des variations dans les méthodes de culture, d'extraction ou de séparation, qui peuvent affecter leurs performances. Par exemple, divers facteurs tels que la variété de la plante, les conditions de culture (type de sol, traitements appliqués, climat), le stade de maturité, le degré de préparation (rouissage, décapage, peignage), l'humidité, la structure cristalline (degré de cristallinité, degré de polymérisation, type de cellulose) et la morphologie (diamètre cellulaire, angle micro-fibrillaire, taille des lumières) peuvent influencer les propriétés des fibres végétales.

En général, la quantité et l'orientation des fibres dans un matériau composite déterminent ses caractéristiques élastiques et de rupture. Dans le cas des fibres végétales, les propriétés physiques sont principalement influencées par leur composition chimique et physique, leur structure, le pourcentage de cellulose, l'angle micro-fibrillaire, le rapport d'aspect L/d (longueur/diamètre), la section transversale et le degré de polymérisation. Pour résumer, pour

un pourcentage donné de cellulose, un angle micro-fibrillaire faible se traduit par une résistance accrue de la fibre, tandis qu'un angle plus élevé favorise un allongement à la rupture plus important. Les variations importantes des mesures des propriétés physiques, mécaniques ou thermiques compliquent la caractérisation des fibres végétales. Ces variations reflètent les différences structurelles au sein des fibres. Par exemple, la taille des cellules dépend non seulement de la variété de la fibre mais aussi de son stade de maturation, des conditions climatiques rencontrées et de sa position dans la plante.[26]

Tableau .I.2 : Propriétés mécaniques des fibres naturelles[26]

Type de fibre	Densité (g/cm ³)	Longueur (mm)	Rt(MPa)	M.d'élasticité (GPa)	Allongement(%)
Abaca	1,5	--	400-980	6,2-20	1,0-10
Alfa	0,89	--	35	22	5,8
Bagasse	1.25	10-300	222-290	17-27.1	1.1
Bambou	0,6-1,1	1.5-4	140-800	11-32	2,5-3,7
Banane	1,35	300-900	500	12	1,5-9
Coir	1.15-1,46	20-150	95-230	2.8-6	15-51,4
Coton	1.5-1.6	10-60	287-800	5,5-12,6	3-10
Ananas	1,4	35	87-1150	11,8-96	1,3-4,9
Lin	1,4-1,5	5-900	343-2000	27,6-103	1,2-3,3
Chanvre	1,4-1,5	5-55	270-900	23,5-90	1-3.5
Agave	1,2	--	430-570	10,1-16,3	3,7-5,9
Isora	1,2-1,3	--	500-600	--	5-6
Jute	1.3-1.49	1,5-120	320-800	8-78	1-1.8
Kénaf	1,4	--	223-930	14.5-53	1.5-2,7
Ortie	--	--	650	38	1.7
Palmier à huile	0,7-1,55	--	80-248	0.5-3.2	17-25
Ramie	1,0-1,55	900-1200	400-1000	24.5-128	1.2-4.0
Sisal	1,33-1,5	900	363-700	9,0-38	2,0-7,0

I.4.2.4.6. Différents types des fibres végétales :

a. Le Genêt d'Espagne :

Le Genêt d'Espagne (*Spartium junceum* L.), connu en Algérie sous le nom de « Tertak », est un petit arbuste à souche ligneuse pouvant atteindre jusqu'à trois mètres de hauteur. Ses rameaux flexibles et cylindriques sont creux et présentent peu de feuilles. Les fleurs, quant à elles, se regroupent en grappes.

Historiquement, le Genêt était cultivé pour sa fibre, utilisée dans la fabrication de toile. Aujourd'hui, les tiges de cette plante sont prisées en vannerie et servent à produire des fibres pour des cordages et des toiles grossières. De plus, après la Seconde Guerre mondiale, les services de sécurité des mines ont exploité les propriétés antistatiques de la fibre de Genêt pour créer des tapis adaptés à leurs besoins .[27]



Figure I.12: Images de l'arbuste de Genêt d'Espagne

b. L'Alfa :

L'Alfa est une herbe vivace typiquement méditerranéenne, principalement répandue en Afrique du Nord, notamment sur les hauts plateaux de l'Algérie et du Maroc. Cette plante pérenne ne meurt pas en hiver et se développe en formant des nappes denses. Elle joue un rôle important dans la délimitation des zones désertiques. Sa tige, creuse et cylindrique, est utilisée dans diverses applications, notamment pour la fabrication de pâte à papier, de cordages, de matériaux composites et d'objets en sparterie.[28]



Figure.I.13: Fibres de L'alfa

c.1.La morphologie de fibre d'alfa :

Pour garantir une croissance optimale, la plante d'alfa requiert un sol riche en calcaire, avec une concentration de 30 à 40%, tout en étant pauvre en gypse, avec environ 2%. En revanche, elle ne s'épanouit pas dans des sols argileux ou limoneux, dont la teneur en ces éléments varie entre 12 et 20%[29][30]. Par ailleurs, l'alfa possède plusieurs adaptations morphologiques et physiologiques qui lui permettent de s'acclimater à des conditions environnementales extrêmes, particulièrement dans l'écosystème méditerranéen difficile. Ses feuilles, ses racines et son système de production ont évolué pour s'adapter à cet habitat. Ainsi, l'alfa se développe dans des régions où les précipitations sont faibles et irrégulières, généralement comprises entre 200 et 400 mm par an, avec des températures pouvant atteindre environ 40 °C et une forte exposition au soleil.[29]

L'herbe alfa se développe en formant des touffes et se propage principalement par voie végétative. Dans une population normale, la densité des touffes varie entre 3000 et 5000 par hectare, tandis que dans un peuplement en gradient, ce chiffre peut descendre à environ 1000 à 2000 touffes par hectare[31]. Chaque touffe est constituée de feuilles vertes, qui peuvent vivre jusqu'à 1,5 an et sont produites de manière continue. Les feuilles mortes contribuent également à la forme circulaire de la touffe[29]. La hauteur de la partie aérienne de l'alfa varie entre 25 et 120 cm selon les conditions climatiques, avec une longueur moyenne généralement comprise entre 40 et 60 cm.[32]

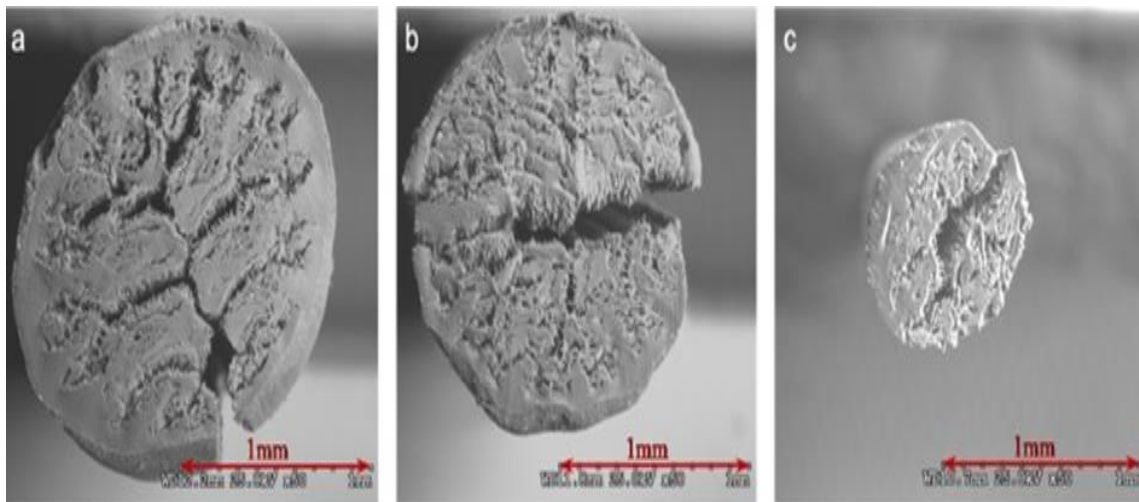


Figure.I.14:Coupes transversales de la feuille d'alfa : (a) niveau le plus bas ;(b) niveau médian (c) niveau supérieur

c. Le sisal :

Le sisal est une variété d'agave, dont les fibres sont extraites des feuilles de la plante scientifique *Agave sisalana*. Originaires de la région du Yucatán, près des Antilles, cette plante est principalement cultivée en Amérique du Sud, en Afrique et en Extrême-Orient. Un seul plant peut produire jusqu'à 300 feuilles, chacune contenant entre 1000 et 1200 paquets de fibres. Ces fibres se distinguent par leur rigidité et leur flexibilité, et elles sont multicellulaires, avec des cellules de formes variées. La longueur des fibres de sisal varie de 0,6 à 1,2 mètre, avec un diamètre moyen de 200 micromètres. Leur couleur est généralement crème, parfois avec une teinte jaunâtre.[33]



Figure .I.15 : Les plantes de sisal (a) et les fibres de sisal (b) (Sources Internet)

1.4.2.4.7. avantages et inconvénients des fibres végétales :

Tableau. 1.3 : Avantages et inconvénients des fibres naturelles.[34]

AVANTAGES	INCONVENIENTS
Coût réduit	Imprégnation d'eau.
Biodégradabilité	Stabilité dimensionnelle limitée.
Neutre en termes d'émissions de CO2	Faible résistance au vieillissement.
Aucune irritation cutanée n'est observée lors de la manipulation des fibres.	Résistance thermique limitée (maximum de 200 à 230 °C).
Aucun résidu n'est laissé après le processus d'incinération.	Les anisotropies des fibres.
Une ressource renouvelable se régénère naturellement et est durable.	La qualité des fibres varie selon le lieu de culture et les conditions météorologiques.
Nécessite peu d'énergie pour sa production.	La gestion des stocks est essentielle pour les applications industrielles.
Caractéristiques mécaniques essentielles telles que la résistance et la rigidité.	Renforcement non continu
Excellentes propriétés d'isolation thermique et phonique.	
Non agressif pour les outils.	

1.4.3. Le rôle des fibres :

Le béton est un matériau naturellement fragile, qui se casse brusquement lorsqu'il atteint sa limite de résistance à la traction, provoquant une propagation rapide des fissures. En revanche, le béton renforcé de fibres se distingue par sa capacité à absorber de l'énergie grâce aux fibres qu'il contient. Cela modifie sa courbe effort-déformation (1.2): initialement fragile, le béton devient plus ductile, c'est-à-dire qu'il se déforme davantage avant de se rompre, en raison de la formation de nombreuses microfissures. Cette évolution traduit une plus grande énergie de rupture. Les fibres jouent un rôle essentiel dans le renforcement du béton, notamment en améliorant sa résistance à la traction et en limitant la propagation des microfissures. Dans certains cas, elles peuvent même se substituer aux armatures passives classiques.[35]

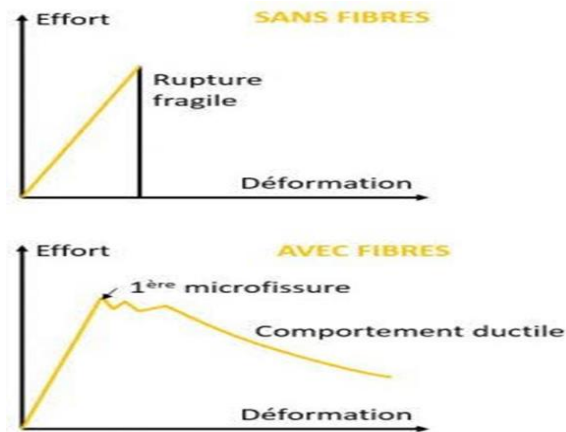


Figure.I.16: Apport des fibres sur le comportement post fissuration du béton [36]

Selon la forme et la nature des fibres ainsi que le type d'ouvrage dans lequel elles sont intégrées, leur présence permet d'apporter plusieurs améliorations notables au béton, notamment :

- ✓ une meilleure cohésion du béton frais,
- ✓ une capacité accrue de déformation avant rupture,
- ✓ une amélioration de la résistance à la traction,
- ✓ une plus grande ductilité et une meilleure maîtrise de la fissuration,
- ✓ une résistance renforcée aux chocs,
- ✓ une meilleure tenue à la fatigue sous charges répétées,
- ✓ une plus grande résistance à l'usure,
- ✓ un gain de résistance mécanique à un jeune âge,
- ✓ une limitation des effets du retrait grâce au rôle de pontage des microfissures,
- ✓ une amélioration du comportement en cas d'exposition au feu,
- ✓ une meilleure résistance à l'abrasion[37]

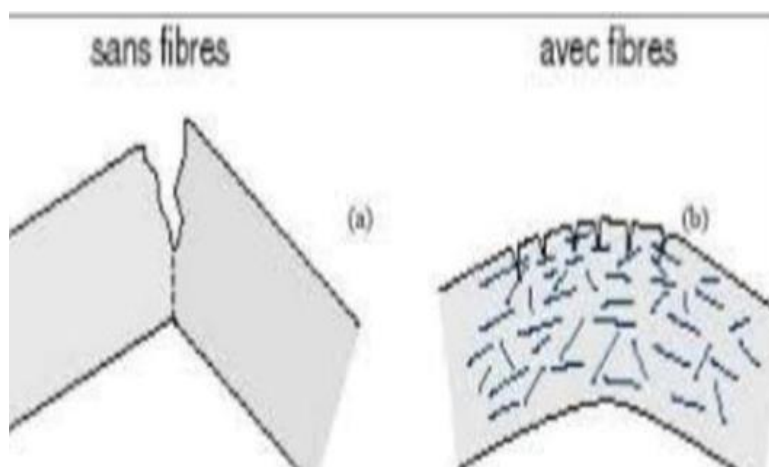
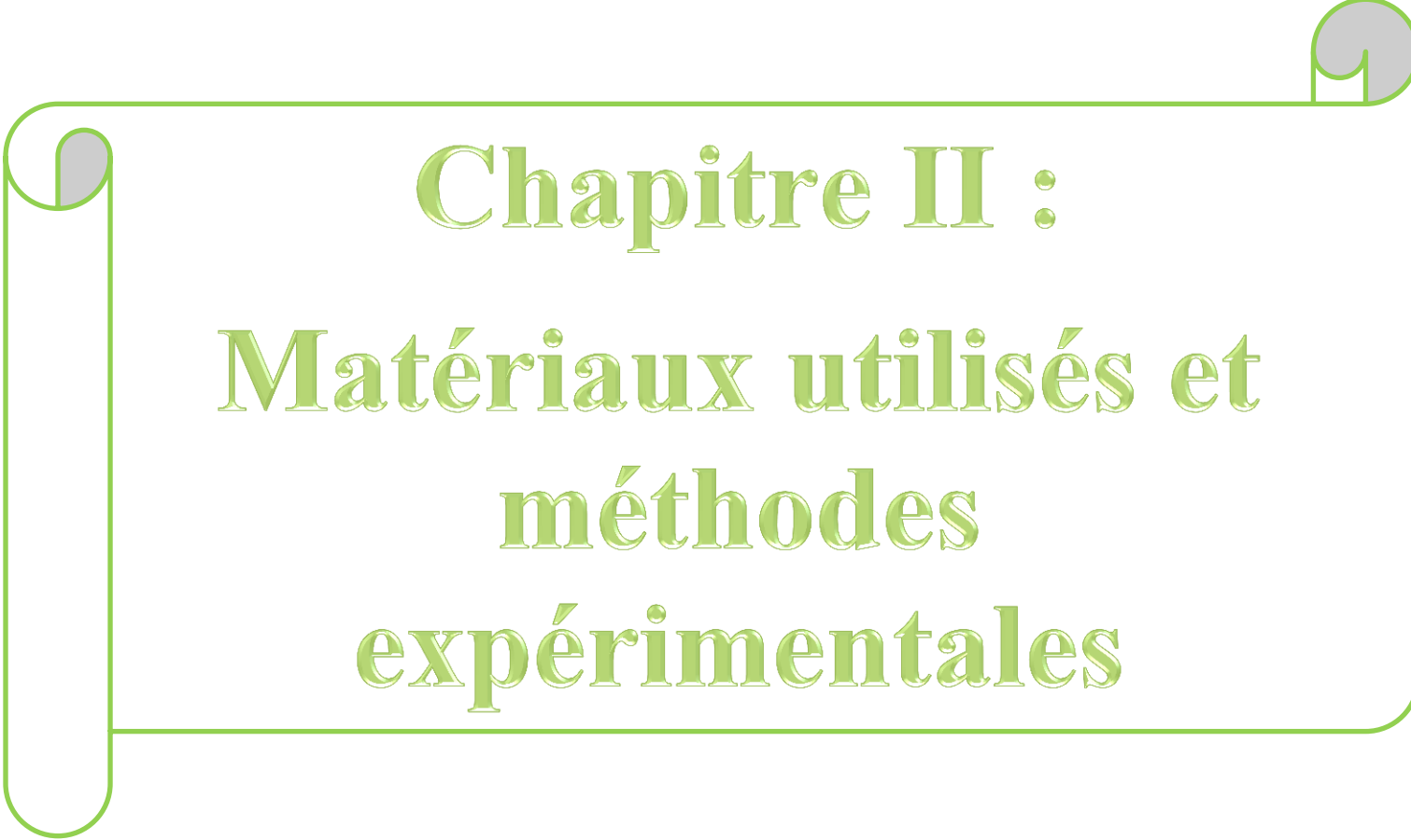


Figure.I.17: Fissuration dans le béton sans et avec fibres

I.5.Conclusion :

Dans cette étude bibliographique, nous avons découvert les matériaux composites ainsi que leurs propriétés, avantages et inconvénients, en explorant également quelques-unes de leurs applications. Nous avons également étudié séparément le ****mortier**** et les ****fibres****, qui sont les deux éléments principaux constituant un matériau composite connu sous le nom de ***mortier fibré***. Chacun joue un rôle complémentaire dans l'amélioration des performances globales du matériau.

A decorative border resembling a scroll, with a light green outline and rounded corners. The top and bottom edges are slightly curved, and there are small grey circular accents at the corners, suggesting the scroll is unrolled.

Chapitre II :

Matériaux utilisés et méthodes expérimentales

II.1. Introduction :

Dans ce travail expérimental, un mortier cimentaire a été préparé en y incorporant trois types de fibres différents : les fibres de sisal, les fibres d'alfa et les fibres de polypropylène. Le choix de ces fibres repose sur leurs différences en termes de nature (naturelle { végétale } versus synthétique) et de caractéristiques physico-mécaniques et de surface, ce qui permet une comparaison méthodique de leur impact sur les performances du matériau composite.

Les essais ont été réalisés selon les normes en vigueur et dans des conditions contrôlées afin de garantir la fiabilité et la reproductibilité des résultats. Ainsi, ce chapitre vise à fournir une vue détaillée des matériaux constitutifs du mortier renforcé de fibres, de leurs propriétés, ainsi que des essais effectués pour évaluer l'effet de la nature des fibres sur le comportement global des composites obtenus.

II.2. Les normes utilisées :

➤ II.2.1. Les normes utilisées pour les essais physiques

- Equivalent de sable : NFP18-597
- Analyse granulométrique : EN933-1
- Masse volumique (apparent et absolue) : NFP 18-301

II. 2. 2. Les normes utilisées pour les essais mécaniques ;

- Essai de compression : NFP18-406.[38]
- Essai de traction par flexion : NFP 18-407.[39]
- Essai d'ultrason : PR EN 12504-4.
- Absorption d'eau par immersion totale
- Mesure de retrait : NF P15-433.

II.3. Matériaux utilisées :

- Les granulats (Sable dunes) ;
- Cement (SPA-CEM I/A 42.5R. NA442.[40])
- Eau de Gachage.

II.3.1. Le ciment :

Le ciment employé dans cette étude est un ciment Portland de type CEM 1/42,5, produit par la cimenterie de Biskra. Les détails concernant sa composition chimique et minéralogique, ainsi que ses propriétés physiques, sont récapitulés dans les **tableaux II.1** et **II. 2**.



Figure. II.1 : ciment utilisé

Tableau. II.I : Composition chimique du ciment

Oxydes	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	PA F	Cao Libre
% massique	3.62	62,63	20,00	2.37	4.30	2.37	2.70	0.47	0.19	2.92	0.60

Tableau .II.2 : Caractéristiques physiques du ciment

Propriétés physique	
Masse volumique absolue	3100 kg/m ³
Masse volumique apparente	980 kg/m ³
La résistance vraie	39MPA
Le temps de prise Début	2h30min/3h10min et Fin : 3h50min/4h10min
Consistance	28j
Refus au tamis 80 µm	1.05%
La surface de Blain	3728cm ² /g

II.3.2.Super plastifiant (TEMPO 12) :

TEMPO 12 (SIKA) : Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi. (Conforme à la norme NF EN 934-2.

Tableau II. 3 : Caractéristiques de super plastifiant

densité	1,06 ± 0,01
PH	6±1
Teneur en Na ₂ O Eq.	≤1%
Extrait sec	30,2 ± 1,3%
Teneur en ions Cl -	≤0,1%

II.3.3. Le sable :

Nous avons employé du sable provenant des dunes de Tébessa.



Figure II.2 : Sable de dune utilisé

II.3.4. L' eau de gâchage :

Les eaux usées utilisées dans cette étude sont des eaux potables, obtenues à partir du laboratoire de génie civil de l'Université Mohamed Cherif Messaadia. Ces eaux répondent à toutes les exigences de la norme européenne (EN 1008).

II.3.5.Fibres utilisées :

A. Fibres de sisal :

Les fibres de sisal sont des fibres naturelles d'origine végétale extraites des feuilles de l'Agave Sisalana. Elles sont largement utilisées dans les matériaux composites et les mortiers en raison de leur structure résistante et leur origine renouvelable.



Figure II.3: fibres de sisal

B. Fibres d' Alfa :

Les fibres d'alfa sont des fibres végétales naturelles provenant de la plante *Stipa Tenacissima*, typique des régions nord-africaines. Elles représentent une ressource locale utilisée dans le domaine de la construction et des matériaux composites.



Figure .II.4 : fibres d'alfa

C. Fibres des Polypropylène :

Les fibres de polypropylène sont des fibres synthétiques issues du polymère thermoplastique du même nom. Elles sont fréquemment employées dans le secteur du bâtiment pour le renforcement des mortiers et des bétons.



Figure.II.5 :fibres polypropylène

II.4. les essais physiques :

II.4. 1.Essai d'équivalent de sable :

○ Objectif :

Cet essai a pour objectifs :

- D'analyser la propreté des sables employés dans la formulation des bétons ou mortiers.
- De séparer les particules fines contenues dans le sable.
- D'appliquer une méthode normalisée pour déterminer le coefficient d'équivalent de sable, afin d'évaluer le degré de propreté du sable.

○ Principe de manipulation :

L'analyse est effectuée sur la fraction granulométrique de 0 à 5 mm du matériau étudié. Le tamisage est réalisé par voie humide pour protéger les particules fines.

○ Mode opératoire d'essai :

- Remplissez les éprouvettes avec la solution de lavage jusqu'au premier trait inférieur.
- Ajoutez 120 g de sable et laissez reposer pendant 10 minutes.
- Bouchez les éprouvettes et agitez-les en effectuant des mouvements rectilignes horizontaux d'une amplitude de 20 cm, en réalisant 90 allers-retours en 30 secondes (si possible, cette opération peut être effectuée automatiquement par la machine).
- Lavez et remplissez les éprouvettes à l'aide du tube plongeur. Retirez le tube et fermez le robinet lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur. Ensuite, laissez reposer pendant 20 minutes en évitant toute vibration. Il est important de respecter une tolérance sur le temps de repos qui est faible (plus ou moins 10 secondes), car la hauteur du floculat en dépend fortement.
- Mesurez visuellement les hauteurs h_1 et h_2 . Utilisez une règle pour mesurer la hauteur h_1 du niveau supérieur du floculat, et h_2' à l'aide d'un piston que vous descendrez jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment.

$$ESV(\%)=(h_1/h_2) \times 100$$

$$ESP(\%)=(h_2'/h_1) \times 100$$

- Hauteur (h_1) : sable propre éléments fins.
- Hauteur (h_2) : sable propre seulement (a vue).
- Hauteur (h_2') : sable propre seulement (au piston).

À partir des résultats de l'essai équivalent sable (ES), il est possible de classer le sable en fonction de son niveau de propreté (qualité). Cette classification permet ensuite de déterminer les applications appropriées pour chaque type de sable, comme indiqué dans le **tableau II.3**.

Tableau II.4: Nature et qualité du sable selon les valeurs d'équivalent de sable

ESV à vue(%)	ESP au piston(%)	Nature et qualité du sable
ESV < 65	ES < 60	Sable argileux: risque de retrait ou de gonflement, problème d'adhérence, à rejeter pour les bétons de qualité.
65 ≤ ESV < 75	60 ≤ ESP < 70	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand on ne craint particulièrement pas le retrait.
75 ≤ ESV < 85	70 ≤ ESP < 80	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant Parfaitement pour des bétons de haute qualité (valeur optimale E.S75, E.S.V V = 80)
ESV ≥ 85	ESP > 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.

○ **Notre résultats sur le Sable :**

avec une masse de sable (Ms) de 120 g.

Le tableau.II.5 : les résultats de l'essai d'équivalence pour le sable

N°	LECTURE DE H1 (CM)	LECTURE DE H2 (CM)	LECTURE DE H2' (CM)	RAPPORT ESV ESV=H2/H1*100%	RAPPORT ESP ESP=H2'/H1*100%
01	4.7	4.2	3.9	89.36	82.97
01	4.8	3.9	4.1	81.25	85.41

ESV Moye=**85.30%**(Sable Très Propre)

ESP Moye=**84.19%**(Sable Très Propre)

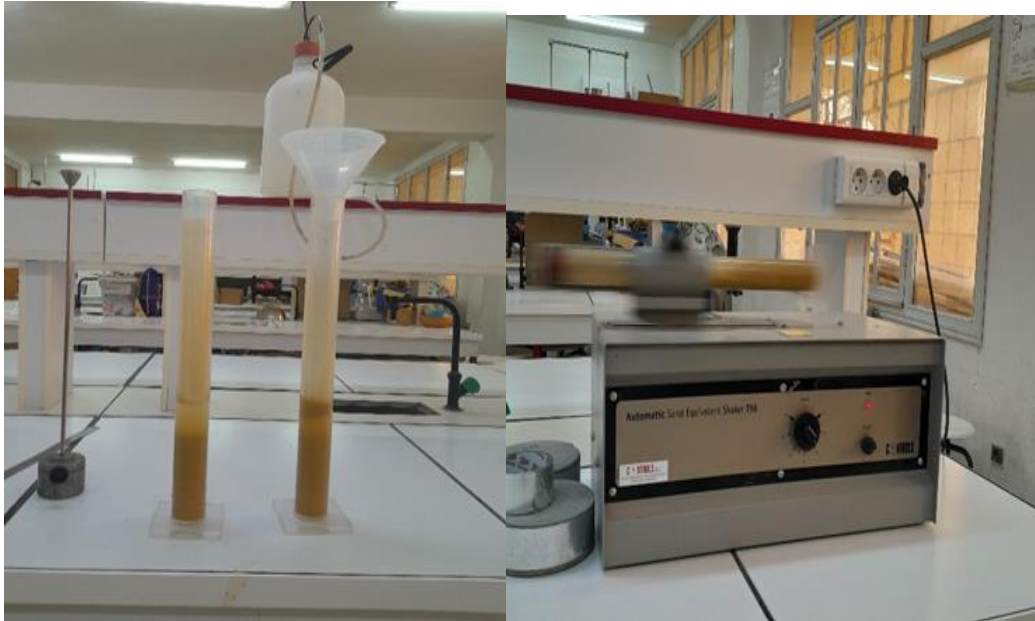


Figure. II.6: Equipements de l'essai

II.4.2. Essai d'analyse granulométrique :

○ Objectif :

L'analyse granulométrique sert à évaluer la taille ainsi que les pourcentages en poids des diverses catégories de grains composant l'échantillon.

○ Notre résultats sur le Sable :

L'analyse granulométrique du Sable Naturel est donnée dans le **tableau II.6** , avec :

$$M_s = D \times 0.2 = 1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$$

Tableau II.6 : Analyse granulométrique du Sable naturel.

Diamètre des tamis (mm)	Refus élémentaire (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât cumulé (%)
4.000	00.000	00.000	00.000	100.000
2.000	12.810	12.810	1.281	98.719
1.000	71.180	83.990	8.399	91.601
0.500	134.470	218.460	21.846	78.154
0.200	552.040	770.500	77.050	22.950
0.100	181.040	951.540	95.154	4.846
0.080	14.960	966.500	96.650	3.350
Fillers	31.260	997.760	99.776	0.224

La Perte = $[(1000 - 997.760) / 100] * 1000 = 0.23 < 2\%$ donc : **Vérfifié.**

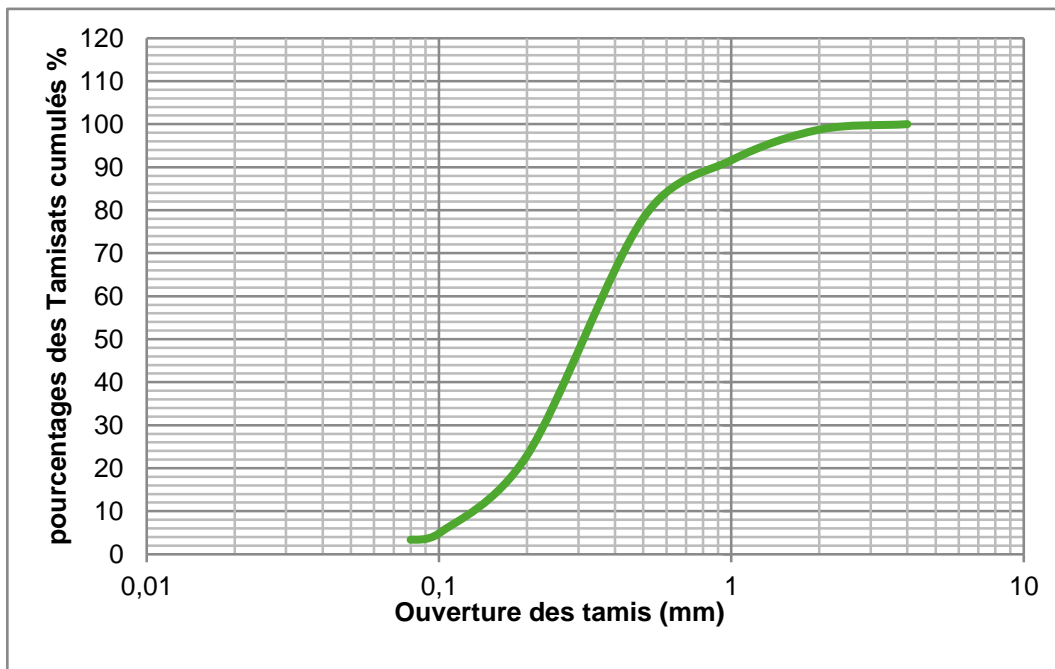


Figure .II.7: Courbe granulométrique de sable utilisé

○ **Le module de finesse :**

- ✓ Le module de finesse a été déterminé selon la norme XP P 18-540
- ✓ Le module de finesse est un paramètre essentiel pour évaluer la taille des grains de sable. Il est calculé en additionnant les pourcentages des refus cumulés. Il est donné par la relation suivante :

$$MF = 1/100 (\sum(\text{refus cumulés en \% des tamis}))$$

Tableau. II.7 : Classification du sable suivant les valeurs de module de finesse

Sable	Module de finesse	
Gros	2.24	3.4
Moyenne	1.8	2.5
Fin	1.5	2.0

○ **Notre résultats :**

$$MF = (0 + 1.281 + 8.399 + 21.846 + 77.050 + 95.154) / 100$$

$$MF = 2.03 \text{ (sable fine)}$$



Figure .II.8: Série de tamis et table de vibration

II.4.3.Masse volumique (absolue et apparent) :

○ Objectif :

La masse volumique d'un corps se définit comme la masse contenue dans un volume donné de ce corps. Il est important de distinguer entre deux types de masse volumique : la masse volumique absolue et la masse volumique apparente.

- **Masse volumique absolue :** Il s'agit de la masse par unité de volume absolu du corps. En d'autres termes, elle représente la masse de la matière qui compose le corps sans tenir compte des espaces vides présents à l'intérieur.
- **Masse volumique apparente :** Cette notion fait référence à la masse par unité de volume apparent du corps. Cela inclut non seulement la masse de la matière constituant le corps, mais aussi le volume des espaces vides qu'il renferme.

○ Mode opératoire d'essai :

➤ Masse volumique apparent :

1. Pesez un récipient vide d'une capacité de **1350 ml**.
2. Remplissez l'entonnoir avec une quantité de sable.
3. Laissez le sable tomber dans le récipient à une vitesse modérée, en veillant à ne pas aller trop vite ni trop lentement.
4. Pendant que vous versez le sable, assurez-vous de diriger le flux vers le centre du récipient, ce qui aide à former un cône de sable autour des bords.
5. Utilisez une règle pour aplanir soigneusement la surface supérieure du sable.
6. Pesez le récipient après l'avoir rempli de sable et enregistrez le poids total (M) du sable dans le récipient.
7. Calculez la masse volumique apparente en utilisant la formule : $P_{app} = M / V(\text{g/cm}^3)$.

8. Répétez cette expérience trois fois pour obtenir des résultats précis et fiables.

➤ **Masse volumique absolue :**

1. .Nous commençons par remplir une éprouvette graduée avec V1 d'eau.
2. .Nous pesons une quantité déterminée de sable (**environ 300 grammes**) et l'introduisons dans l'éprouvette, en veillant à éliminer les bulles d'air. Ensuite, nous notons le nouveau volume V2.
3. .Nous calculons la masse volumique absolue en utilisant la formule suivante :

$$P_{ab} = M / (V2 - V1)(g/cm^3).$$
4. .Nous répétons ce processus trois fois pour obtenir des mesures précises et fiables.

○ **Notre résultats :**

Tableau.II.8 : les résultats de l'essai la masse volumique apparent

N°ESSAI	v (ml)	M1 (g)	M2 (g)	Ms (g)	P (g/ml)	MOY(g/ml)
essai01	1350	216,5	2435,33	2218,83	1,64	
essai02	1350	216,5	2431,65	2215,15	1,64	1,64
essai03	1350	216,5	2453,12	2236,62	1,65	

Tableau.II.9: les résultats de l'essai la masse volumique absolue

N°ESSAI	Ms (g)	v1 (ml)	v2 (ml)	v (ml)	P (g/ml)	MOY(g/ml)
essai01	300	600	723	123	2,43	
essai02	300	650	775	125	2,4	2,43
essai03	300	700	822	122	2,45	



Figure. II.9 : essai Masse volumique (absolue et apparent)

II.5.Essai de mortier :

II.5.1 Composition du mortier :

La méthode de formulation du mortier classique est conforme à la norme EN-196-1. Sa composition en masse est la suivante :

- 3 parties de sable
- 1 partie de ciment
- 0,5 partie d'eau

Nous avons maintenu une ouvrabilité constante au cours de notre étude, laquelle a été évaluée à l'aide de l'essai d'étalement. L'objectif était d'optimiser le rapport eau/ciment (E/C) à 0,57 afin d'améliorer l'ouvrabilité du mortier. Pour cette étude expérimentale, nous avons utilisé deux types de mortiers différents.

- Mortier témoin (ciment + sable($D < 2mm$))+ l'eau + Super plastifiant)
- Mortier à base de fibres (ciment + sable + l'eau + Super plastifiant+ les fibres)
- Le mortier témoin est composée de **450g ciment, 1350g sable et 256,5g d'eau et 2% Super plastifiant**

II.5.2 Composition du mortier fibré :

Notre première étape a été de choisir le mortier témoin et de l'enrichir avec des fibres de **12 mm de longueur**. Nous avons utilisé trois types de fibres, chaque type étant testé à quatre proportions différentes.

- Fibre de sisal (F1=0,5%, F2=0,75%, F3=1%, F4=1,5%)
- Fibre d'Alfa (H1=0,5%, H2=0,75%, H3=1%, H4=1,5%,)
- Fibre de polypropylène (pp1=0,5%, pp2=0,75%, pp3=1%, pp4=1,5%)

II.5.3. Malaxage de mortier :

Il est nécessaire de malaxer chaque gâchée de mortier de manière mécanique en utilisant le malaxeur approprié :

- Commencez par verser l'eau dans le récipient, puis ajoutez le ciment.
- Mettez immédiatement le malaxeur en marche à faible vitesse et, après 30 secondes, incorporez progressivement tout le sable (durant les 30 secondes suivantes).
- Augmentez la vitesse du malaxeur au maximum et continuez à mélanger pendant 30 secondes supplémentaires.
- Arrêtez le malaxeur pendant 1 minute et 30 secondes. Pendant les 15 premières secondes, utilisez une raclette en caoutchouc pour enlever le mortier qui adhère aux parois et au fond du récipient, en le ramenant vers le centre.
- Reprenez ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 secondes.



Fig. II.10 : Malaxeur de mortier



Figure .II.11 : mélange manuellement d'un mortier



Figure II.12: moulage des éprouvettes

II.5.4.Essai réalisés a l'état frais :

II.5.4.3. Etalement sur la table à secousse :

Cet essai consiste à utiliser une table à secousse équipée d'une plaque métallique se déplaçant en mouvement vertical. Un moule conique tronqué est placé sur la table, et il est rempli avec le mortier à tester en deux couches égales. Ensuite, nous effectuons 15 coups pour chaque couche . Après avoir retiré le moule conique, nous appliquons 25 vibrations, puis nous mesurons les valeurs D1 et D2.



Figure. II.13 : Essai d'étalement à la table à secousses

II.5.5.Essai réalisés a l'état durci :

II.5.5.1. la masse volumique du mortier durci :

La masse volumique du mortier durci est déterminée en rapportant la masse de l'éprouvette à son volume après 28 jours de durcissement, conformément à la norme NF EN 12390-7 [NF EN 12. Les essais de masse volumique ont été réalisés sur des éprouvettes de dimensions (4x4x16) cm.

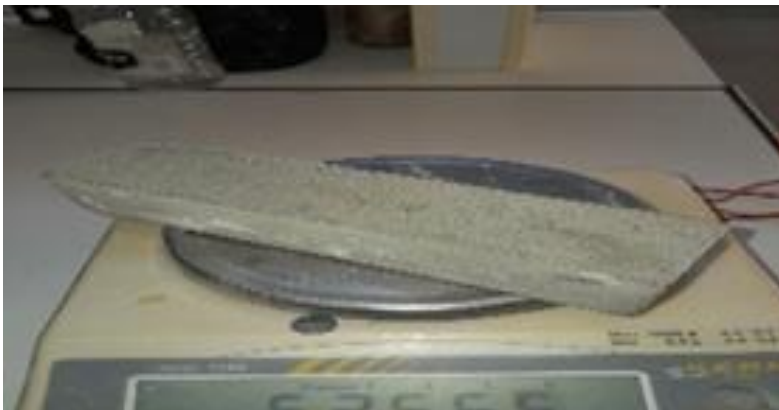


Figure. II.14 : La masse de éprouvette

II.5.5.2. Essai de traction par flexion trois points :

L'essai de flexion en trois points permet de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau conformément à la norme NFP 18-406. Les éprouvettes prismatiques de dimensions (4 x 4 x 16 cm³) sont placées sur deux appuis, et une force croissante est appliquée au centre de l'éprouvette jusqu'à provoquer sa rupture.

Tout comme l'essai de compression, l'essai de flexion n'est généralement pas adapté pour atteindre la rupture des matériaux ductiles. Cet essai est principalement conçu pour les matériaux fragiles. Il se distingue par la simplicité de son montage et la géométrie élémentaire des éprouvettes, qui nécessitent peu ou pas d'usinage. Pendant le test, la partie supérieure de l'éprouvette est soumise à une compression, tandis que la partie inférieure subit une traction. Les

résultats sont exprimés en termes de contrainte de rupture en traction par flexion selon la relation suivante :

$$R_t = (1.5FL)/(a^3) \text{ en (MPa), où :}$$

F = charge de rupture.

a = côté de la base en (mm).

L = la longueur de l'éprouvette entre appuis.

R_t = la résistance à la traction aux différents âges (7j et 28j).



Figure . II.15 :Essai de traction par flexion sur des éprouvette

II.5.5. 3.Essai de compression :

La caractérisation du comportement en compression est réalisée conformément à la norme NFP 18-406, sur des demi-prismes obtenus à partir de l'essai de flexion en trois points. Les résultats de la résistance à la compression, notés F_{ej}, sont obtenus à 7 et 28 jours et représentent la moyenne de trois échantillons, avec une capacité maximale de 2400N/s en compression.

L'expression des résultats sera donnée par la relation suivante :

$$RC = F/S \text{ (MPa)}$$

F représente la charge maximale

S désigne la surface de compression de l'éprouvette.



Figure. II.16 : Essai de compression sur des éprouvettes

II.5.5.4.Essai d’ultrason :

Connu sous le nom d’essai aux ultrasons, cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation des ondes longitudinales (de compression) à travers un élément en béton. Le principe de cette méthode consiste à mesurer le temps nécessaire à une onde pour parcourir une distance donnée.

Notre essai d’ultrason est réalisé sur des éprouvettes prismatiques en mortier de dimensions $(4 \times 4 \times 16) \text{ cm}^3$, avec trois éprouvettes testées à chaque période de 7 jours et 28 jours.

Mode opératoire de l’essai :

1. Poncer et égaliser la surface de l’élément à ausculter où le transducteur sera fixé.
2. Utiliser un matériau intermédiaire entre les deux, en veillant à ce que l’appareil soit bien appliqué contre la surface à tester, à l’aide d’un matériau d’interposition tel que de la vaseline, un savon liquide ou une pâte composée de kaolin et de glycérol.
3. Les mesures en transparence (directe) sont employées dans le cas des éprouvettes, comme c’est notre cas, ou pour des poteaux et certaines poutres. Les transducteurs sont placés sur les deux faces de l’élément à tester.



Figure II.17: Essai d'ultrason sur des éprouvettes

II.5.5.4. Mesure de retrait :

Dans notre travail expérimental, nous avons choisi d'étudier le retrait sur des mortiers. Pour cela, nous avons utilisé des éprouvettes prismatiques de dimensions (4x4x16 cm³), conformément à la norme (NFP 15-433). Ces éprouvettes sont dotées de plots métalliques à chaque extrémité et sont placées verticalement dans le réctayomètre, permettant ainsi le suivi de la variation de la longueur de l'échantillon.

Les mesures de retrait sont effectuées à 2 jours, 7 jours, 14 jours, 21 jours et 28 jours après le démoulage, tout au long de la période d'essai de 28 jours. Les calculs sont réalisés à l'aide des formules suivantes :

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0)$$

$$\varepsilon(t) = (\Delta l(t)) / L = (dl(t) - dl(t_0)) / L$$



Figure. II.18 : Mesure de retrait sur des éprouvettes

II.5.5.5. Absorption d'eau par immersion totale :

L'absorption par immersion a été effectuée, en séchant les éprouvettes (5x5x5) cm du mortier à l'étuve jusqu'à masse constante, ensuite en les immergeant totalement dans l'eau pendant 24h , elle est définie par la formule suivante :

$$\text{Abs}\% = (M_{ss} - M_s) / M_s \cdot 100\%$$

Avec :

M_{ss} : masse d'éprouvette saturée d'eau (g)

M_s : masse sèche de l'éprouvette (g)

II. 6. Conclusion :

À la fin de ce chapitre, nous avons passé en revue les matériaux et les techniques expérimentales utilisés dans cette étude, en mettant l'accent sur la préparation des échantillons et le choix des matériaux appropriés, ainsi que sur la description des expériences et des tests effectués pour évaluer les propriétés du mortier composite. Cette étape a été essentielle pour comprendre le comportement mécanique et physique du mortier, et elle constitue la base des analyses et des discussions qui suivront dans les prochains chapitres.



Chapitre III :

Résultats et

Interprétations

Résultats et Discussions

III.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est comparée de l'effet de fibres végétales (fibres de sisal et fibre d'alfa) et de fibres synthétique (fibre polypropylène) sur les propriétés physiques et mécaniques des composites. Les principaux essais étudiés sont l'ouvrabilité la densité, la résistance à la compression et à la traction par flexion, l'absorption d'eau par immersion totale, et le retrait .

III.2. Caractérisation frais des composites étudier

III.2.1. Effet des fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur l'ouvrabilité

Interprétation des résultats

La figure. III.1 illustre l'étalement du mortier renforcé avec des fibres de sisal, d'alfa et de polypropylène, comparé au composite de référence non renforcé. Les résultats montrent que le composite de contrôle a les valeurs d'étalement les plus élevées. D'autre part, l'ajout de fibres entraîne une diminution progressive de l'étalement, avec un impact qui varie en fonction du type de fibre utilisé. Pour les fibres d'alfa, les valeurs d'étalement du mortier restent relativement proches de celles du mortier témoin, en particulier pour des taux d'ajout de fibres faibles. En revanche, les fibres de sisal entraînent une réduction plus marquée de l'étalement, en raison de leur forte capacité d'absorption d'eau, qui réduit la quantité d'eau libre disponible pour assurer la fluidité du mortier. D'autre part, les fibres de polypropylène entraînent une diminution significative des valeurs d'étalement pour toutes les taux étudier, plus important comparativement aux fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa)



Figure. III .1 : l’effet des fibres de sisal, Alfa et polypropylènes sur la maniabilité de mortier

III.3 Caractérisation du Composite durci

III.3.1 la densité

III.3.2 Effet des fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa), et synthétique (fibre polypropylène) sur la densité

Interprétation des résultats

La figure.III.2 montre les variations de densité après 28 jours de cure à l'air pour les mortiers renforcés avec des fibres végétales (fibres de sisal et d'alfa), et des fibres synthétiques (fibres de polypropylène). Les résultats montrent que le mortier de contrôle a la densité la plus élevée, tandis que l'ajout de fibres de sisal et d'alfa et de fibres synthétiques (fibres de polypropylène) dans différentes proportions 0,5%, 0,75%, 1% et 1,50%., la densité diminué progressivement, et plus la teneur en fibres augmente, plus cet effet devient apparent. Cela peut s'expliquer par l'augmentation des vides dans le mortier causée par l'introduction des fibres, ce qui rend le mélange moins dense. En comparant les trois types de fibres, on constate que les fibres d'alfa maintiennent une densité légèrement supérieure à celle du sisal et du polypropylène, tandis que le polypropylène a un effet plus important sur la diminution de la densité.

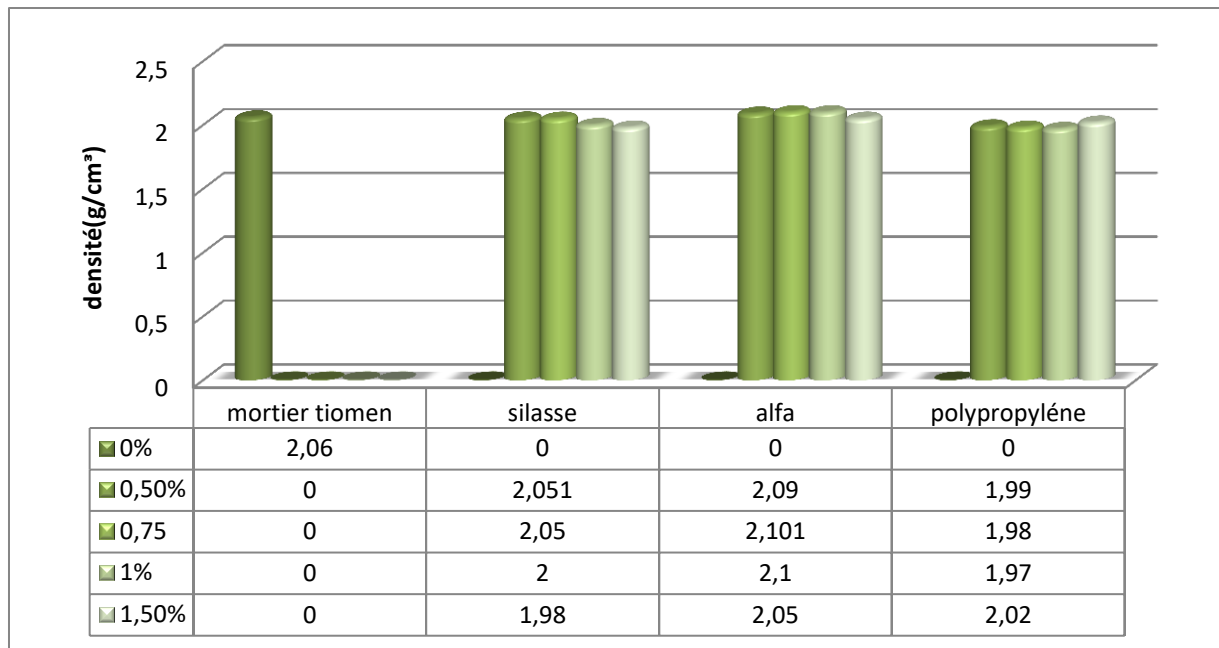


Figure.III.2: l'effet des fibres de sisal ,Alfa et polypropylènes sur la densité de mortier

III.5. Résistance à la traction par flexion

III .4. Effet de des fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur la résistance à la traction par flexion

- **Interprétation des résultats**

Les figure 3 et 4 présentent l'évolution des résistances en flexion des mortiers à base de ciment en fonction de la teneur en végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) testé à 7 et 28 jours. A 7 jours on remarque que le composite contenant de sisal, present des valeurs de résistance a la traction la plus élevé comparativement au mortier témoin et celle renforce de fibre alfa et polypropylène avec le pourcentage jusqu'à atteindre un maximum à 1 %, Dans le cas des fibres d'alfa, la résistance enregistrée était inférieure à celle du sisal, avec une diminution progressive des valeurs à mesure que le pourcentage augmentait. Pour les fibres de polypropylène, une bonne résistance a été observée pour des faibles teneurs d'ajout de fibre, avant de diminuer avec l'augmentation du dosage, la valeur la plus basse étant notée à 1,5 %. Après 28 jours on constate que le mortier témoin, sans fibres, présente la résistance a la traction par flexion la plus faible ; l'ajout de fibres de sisal, augmente la résistance de manière significative, atteignant sa valeur maximale pour dosage de fibres 1 %, En ce qui concerne les fibres d'alfa, une amélioration de résistance a la traction est observée pour de faibles dosages de fibre. D'un autre côté, les fibres de polypropylène montrent des résultats de résistance qui augmente progressivement pour atteindre une valeur maximale pour de taux de fibres 1,5 %. Ce

comportement semble être lié au rôle joué par la fibre dans le composite qui limite la propagation des fissures par un effet de couture ; ce qui augmente la résistance à la traction des mortiers testés. En outre, les fibres sisal a donné aux mortiers, des résistances à la traction par flexion plus grandes que ceux renforcés par les fibres d'alfa.

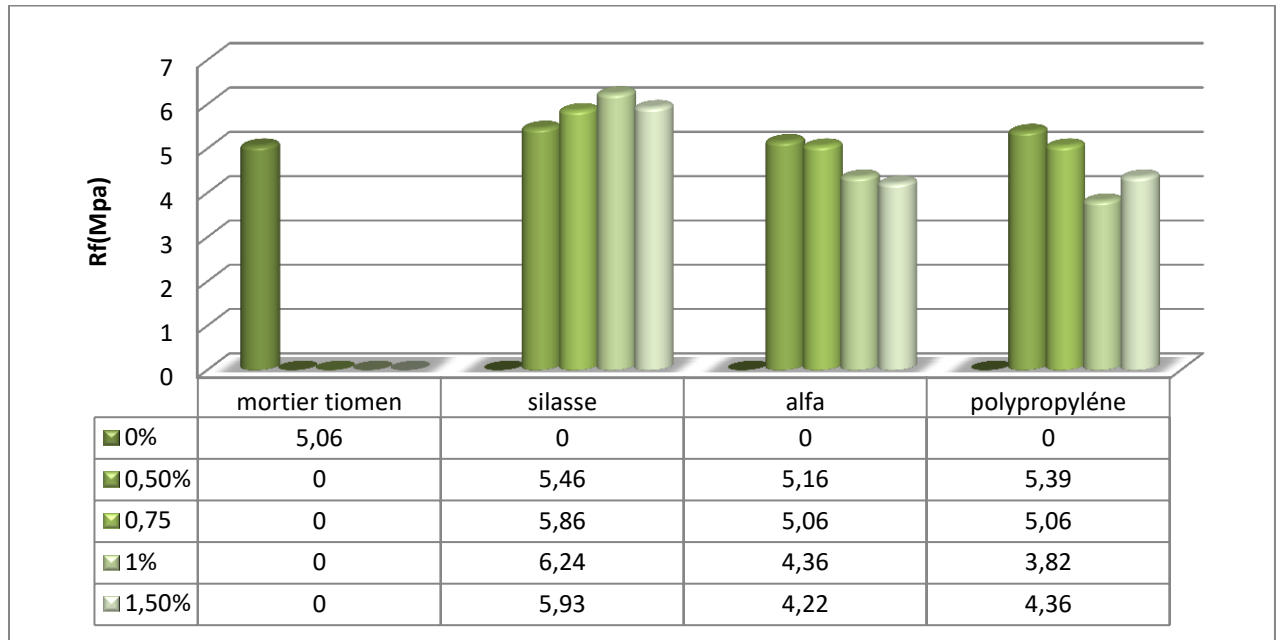


Figure. III .3: Effet fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur la résistance à la flexion à 7jours

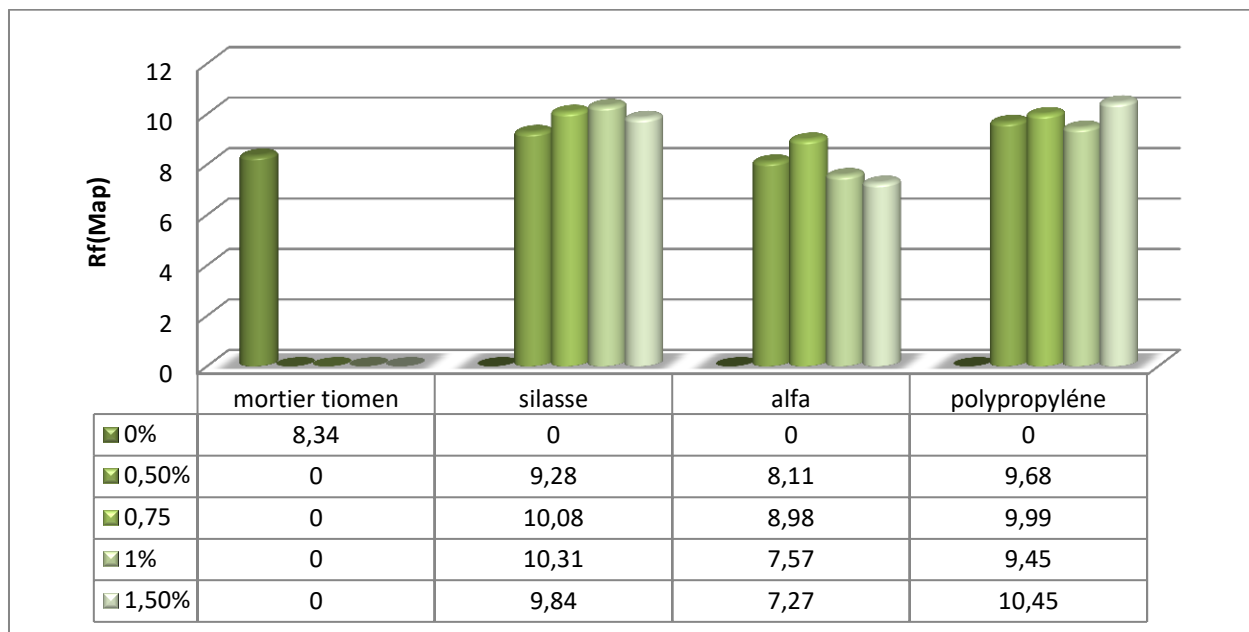


Figure. III .4: Effet fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur la résistance à la flexion à 28jours

III.5. Résistance à la compression

III.5.1 Effet des fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur la résistance à la compression de composite

- **Interprétation des résultats**

Les figures 5 et 6 montrent l'évolution de la résistance à la compression du mortier testé à 7 et 28 jours en fonction du pourcentage de fibres végétales et synthétiques incorporées, pour des taux allant de 0,5 %, 0,75 %, 1 % et 1,50 %. Après 7 jours, le mortier témoin présente la résistance la plus élevée. Pour le mortier contenant des fibres de sisal, on constate qu'au fur et à mesure que le pourcentage de fibres augmente, la résistance diminue progressivement, avec la valeur la plus faible pour de taux de fibres 1,5 %. Le mortier contenant des fibres d'alfa présente une tendance similaire, avec une résistance inférieure à celle du sisal, et une diminution plus importante de résistance avec l'augmentation du dosage des fibres. En revanche la fibre polypropylène se distingue avec une résistance presque constante pour toutes les proportions, et même une légère augmentation à 1,5 %. Après 28 jours comme à 7 jours on observe une tendance similaire le mortier témoin, sans fibres, présente la résistance la plus élevée, comparativement au mortiers contenant des fibres végétales et synthétique, ce comportement peut être expliqué par l'augmentation des vides internes dans le mortier avec l'augmentation du taux d'incorporation des fibres dû à une augmentation du nombre de défauts dans la matrice ce qui entraîne une réduction significative de la résistance à la compression.

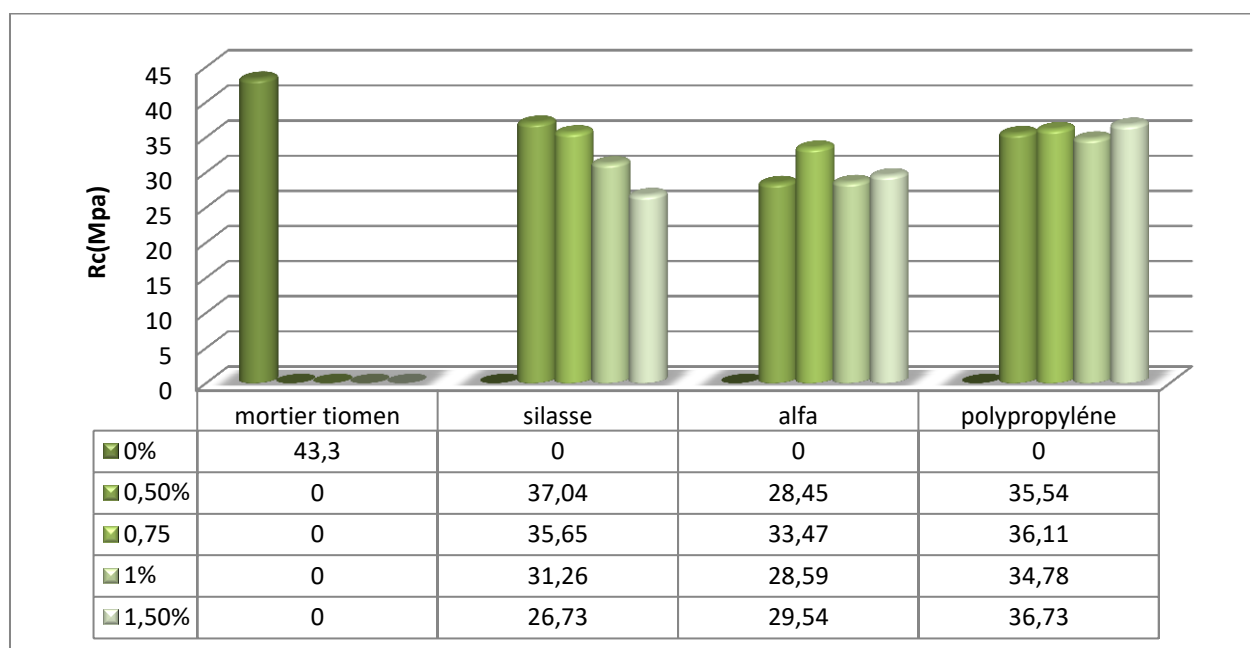


Figure.III.5: Effet fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur la résistance à compression à 7jours

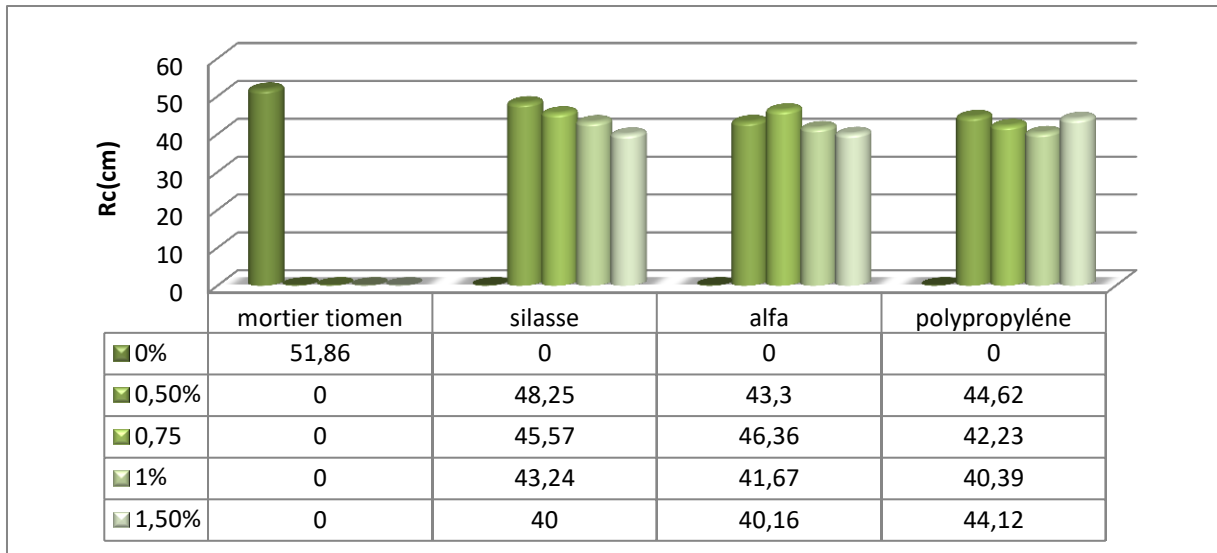


Figure .III .6: Effet fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur la résistance à compression à 28jours

III.6. Effet des fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur la vitesse de propagation d'ondes du composite :

- **Interprétation des résultats**

La figure. III.7 représente les résultats de variation de la vitesse de propagation d'ondes longitudinales de composites en fonction du taux de fibres. À partir les figures sous dessous, on peut remarquer que l'ajout de fibres, quel que soit leur type, entraîne une baisse de la vitesse par rapport au mortier témoin. Plus le pourcentage de fibres est élevé, plus la vitesse diminue.

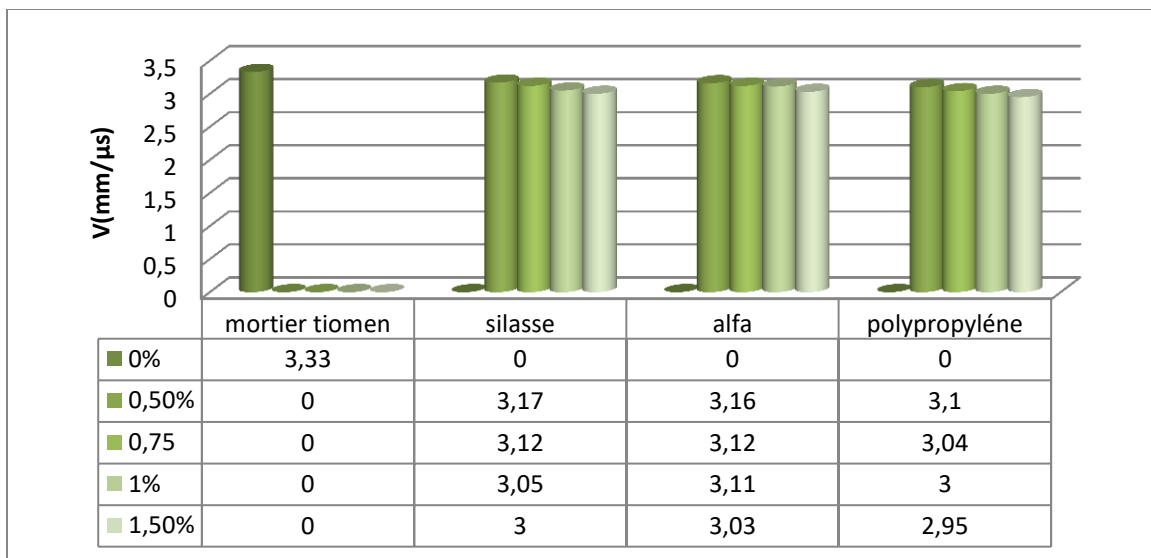


Figure .III .7: Effet fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur la vitesse de propagation d'ondes à 28jours

III.7. Effet des fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur l'Absorption d'eau

- **Interprétation des résultats**

L'absorption d'eau des mortiers des fibres est illustrée à la Figure .III.8. D'après les résultats obtenus, on constate que l'introduction des fibres dans composite influe sur la l'absorption demortier. D'une manière générale, on peut dire que la présence de fibres a augmenté l'absorption d'eau pour toutes compositions par rapport à la composition sans fibre. Cette augmentation peut être expliquée par l'augmentation des vides dans la matrice en raison de l'effet de fibre.

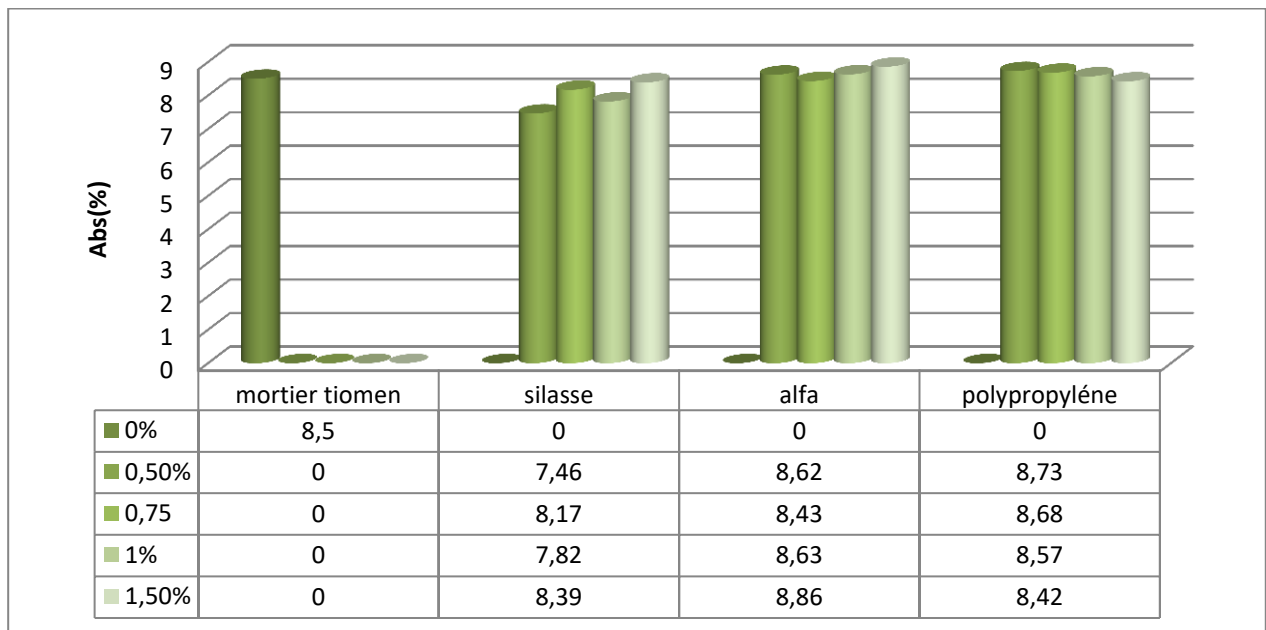


Figure. III.8: Effet fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur l'absorption totale d'eau

III.8. Effet des fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur le retrait de composite :

- **Interprétation des résultats**

L'évaluation du retrait de dessiccation de composite renforcée des fibres fibre sisal et fibre alfa, et fibre polypropylène en fonction de la teneur en fibres est présentée dans la figure.11. D'après les résultats obtenus, on peut constater que le composite renforcé avec des fibres fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) génère des déformations libres plus faibles que le mortier sans fibres, ceci est dû au rôle très important des fibres (fibre sisal et fibre alfa) dans le contrôle de l'ouverture des fissures ultérieure dans le composite

Type de fibres	Taux de fibre	Retrait(mm/m)
Témoin	T	1,21
	0,50%	0,97
Sisal	0,75%	1,17
	1%	0,97
	0,50%	1,07
Alfa	0,75%	1,2
	1%	0,91
Polypropylène	0,50%	0,95

Tableau .III.1: Effet fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et synthétique (fibre polypropylène) sur le retrait

Conclusion générale

Conclusion générale

Les travaux présentés dans cette étude s'inscrivent dans l'objectif général de valorisation des coproduits végétaux. Le but de ce travail est l'étude de l'effet de l'ajout de fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa), et synthétique (fibre polypropylène) sur les propriétés physiques, mécaniques du composite. Après cette étude expérimentale, nous pouvons présenter les conclusions suivantes :

1. L'ajout de fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa) et ou bien synthétique (fibre polypropylène), diminue la maniabilité du composite.
2. L'incorporation de fibres, aussi bien végétales que synthétiques, modifie la densité du mortier. Les fibres de polypropylène ont un effet allège plus prononcé, tandis que les fibres de sisal n'entraînent qu'une légère réduction. En revanche les fibres d'alfa entraînent un gain de densité.
3. L'incorporation végétales ou bien synthétique) dans le mortier entraîne une diminution systématique de sa résistance à la compression par rapport au composite témoin. Cette perte s'explique par des problèmes d'adhérence fibre-matrice.
4. Il a été observé que l'ajout Les fibres végétales (fibre sisal et fibre alfa), et synthétique (fibre polypropylène) dans la matrice cimentaire de matériaux composite entraîne une diminution de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores.
5. La fibre de sisal et d'Alfa améliore généralement la résistance à la traction flexion des composites. Ce qui contribue à améliorer la ductilité du composite.
6. Il a également été observé que la fibre végétale a un effet direct sur la diminution du retrait. Les propriétés de surface et la forme et le type des fibres sont des facteurs clés pour réduire le retrait et contrôler l'apparition de fissures ultérieures.

Référence

Référence :

- [1] **Jean-M Berthelot** mécanique et analyse des structure 5^eédition 2012 Lavoisier Paris
IBBN : 978-2-7430-14507
- [2] **BERTHELOT, JEAN-MARIE.** « Matériaux composites : comportement mécanique et analyse des structures. » & 245 (1999) : 172.
- [3] **HMIMID, FAKHER EDDINE** et **TAABLI, AYMAN.** Impact de la taille des fibres de palmier dattier sur les caractéristiques mécaniques d'un matériau composite. Mémoire de master académique. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2022.
- [4]**HEMAIZIA, Yaakoub.** Analyse du comportement mécanique des matériaux composites stratifiés par l'utilisation de Matlab. Mémoire de Master. Université Larbi Ben M'Hidi Oum-El-Bouaghi, 2018.Classification des matériaux composites
- [5]**Kamila, Rouam.** Elaboration, caractérisation mécanique et hygrothermique d'un stratifié renforcé par des fibres naturelles. Boumerdès, 2015.
- [6]**L. Berreur, B. d. Maillard,** and **S. Nösperger,** « L'industrie française des matériaux.
- [7]**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 Vol.16, pp11-24,2006.
- [8] :**Ben Boudjemaa, Djerroud, Mousaoui.** Influence des fibres métalliques (issues de l'unité BCR) sur le comportement mécanique et physico-chimique des mortiers. Université Bejaia 2013..
- [9] **WILLIAM.D, CALLISTER.JR** «Science et génie des matériaux » modulo Editeur, 2001
- [10]**KETTAB.M**2007.
- [11] : **H.E. TOUMIAT**« Influence des fibres de diss et la poudre de verre sur les propriétés d'un beton ordinaire» mémoire de master UBMA 2021
- [12] **A. DJOUDI,** «Caractérisation structurale et rhéologique des bétons de plâtre et leurs renforcements par les fibres végétales du palmier dattier, Mémoire de Magister, C.U Laghouat, 2001.
- [13] **MR. MAZA MEKKI...** Influence de l'énergie de vibration sur le mortier à base sable mixte
- [14] **H. DJELOUahi** «Influence des fibres végétales sur les propriétés physico-mécaniques d'un béton» mémoire de master. Université de Boumerdes
- [15] **BENCHIHEUB Djihen** <<< Contribuion a l'étude de la comprehension des phénomènes et mécanismes d'action des effets des additions sur le comportement des matris cimentaires >>thèse de doctorat, Université 20 Août 1955-Skikda, Année 2018/2019.

- [16] **Jean FESTA, Georges DREUX**, nouveau guide du béton et ses constituants, 8^{ème} édition, EYROLLES, 2007.
- [17] **INDEX**, « fibres.fibres.fasern ». 93.
- [18] **MASMOUDI Mounira.** (2008), Amélioration des caractéristiques mécaniques du béton et du mortier par renforcement en fibres d'acier, Mémoire de magister, université de Biskra, Algérie.
- [19] **Farourou M. Sebaa A.** (2018). Etude du béton de sable de dunes renforcé par des fibres soumis à haute température, mémoire mastère, Université d'Ouargla.
- [20] **BERND Weiler, CHRISTIAN Grosse.** Comportement à l'arrachement de fibres d'un béton renforcé de fibres d'acier.
- [21] **DEBABI, Zahra, and Afaf BOUGUERRA.** Effet des traitements chimiques sur les morphologies structurales des fibres végétales utilisées dans un matériau composite. Mémoire de master académique. Université Mohamed BOUDIAF de M'Sila, 2019.
- [22] **DJEBLOUN, Youcef.** Contribution à la caractérisation des matériaux composites renforcés de fibres végétales. Thèse de doctorat. UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA, 2018.
- [23] **Toledo Filho, R. D., Scrivener, K., England, G. L., & Ghavami, K.** (2000). Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. *Cement and Concrete Composites*, 22(2), 127-143.
- [24] **VIDIL., Lisa.** Etude de matériaux naturels 2D-Potentialités d'utilisation comme renfort de matériaux composites. Université des Antilles, Pointe-à-Pitre, 2019.
- [25] **Mokhtar, Abdessamed.** Influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier. Mémoire de Magister. UNIVERSITE KASDI MERBAH QUARGLA 2006,
- [26] : **D., SEDAN, C., PAGNOUX, A. SMITH., & T. CHOTARD,** (2007). «Interaction fibre de chanvre/ciment : influence sur les propriétés mécaniques du composite. *Matériaux & Techniques*, 95(2), 133-142.
- [27] **S. Bouhank.** « Effet d'absorption d'eau sur le comportement mécanique des composites PP/farine cellulosique. Mémoire de Master, Département de Génie des Procédés, Université Ferhat Abbas Sétif 1. Algérie, 2012, 56 p.
- [28] **S. Boudjaja, A. Harfouche et W. Chettah.** <<< Contribution à l'étude de la variabilité géographique chez l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) ». *Revue de l'Institut national de la Recherche Agronomique* n° 23. 2009, pp. 7-23.
- [29] **F. I. Pugnaire, P. Haase, L. D. Incoll, and S. C. Clark,** « Response of the Tussock Grass *Stipa tenacissima* to Watering in Semi-Arid Environment, *Funct. Ecol*, vol. 10, no. 2, p. 265, 1996, doi 10.2307/2389852

- [30] **S. Belkhir, A. Koubaa, A. Khadhri, M. Ksontini, and S. Smiti**, « Variations in the morphological characteristics of *Stipa tenacissima* fiber : The case of Tunisia, » *Ind. Crops Prod.*, vol. 37, no. 1, pp. 200-206, 2012, doi : 10.1016/j.indcrop.2011.11.021.
- [31] **P. Boudy**, « Guide du forestier en Afrique du Nord, Ed. La maison Rustique. Paris. Pp. 185-194, 1952.
- [32] **B.L 1 Brunet P**, « Bibliothèque de travail, » 1.'imprimerie à l'école.
- [33] **BENMACHICHE, Assam**. Effet des fibres de sisal sur les propriétés mécaniques et hygroscopiques du mortier de terre. Mémoire de master. Université Mohamed khider-Biskra, 2022.
- [34] **AMEL, KHIRI, and BOUCHIBA MARIA**. Effet des techniques d'extraction des fibres végétales sur leurs caractéristiques physiques chimiques et mécaniques. Mémoire de master académique. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA, 2019.
- [35] **SUKONTASUKKUL P. (2004)**.« Toughnessevaluation of steel and polypropylene fibre reinforcedconcretebeamsunderbending », *Thammasat international journal of science and technology* 9, 3 (Jul.-Sep. 2004) pp. 35-41.
- [36] **Naaman, A.E.**, 2006. *Fibre Reinforced Concrete State of Progress at. the Edge of the New Millenium*, 9th Conference on Concrete Engineering and Technology (CONCET), Kuala Lumpur, Malaysia.
- [37] **COTTERELL B, MAI Y.W.**(1996). « *Fracture Mechanics of CementitiousMaterials*. Blackie Academic& Professional », London/Chapman and Hall. P. 294.
- [38] NF P. 18-406 «Bétons-Essais de compression AFNOR, Paris 1981
- [39] NF P 18-407 «Bétons-Essais de Flexions. AFNOR, Paris 1981,
- [40] NA 442 Liants hydrauliques – Définition, classification et spécification des Ciments 1994

