REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté *des Sciences et de la technologie Département de Génie mécanique*

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : **Génie mécanique**

Spécialité : Génie des Matériaux

Par

➢ **BECHTA Ayach**

Intitulé

Contribution à l'étude des propriétés mécaniques d'un matériaux Bio-composite

Soutenu le : 01 /07/2025

Devant le Jury composé de :

Nom & Prénom	*Grade*	*Qualité*	*Etablissement*
M.Tayebi .T	*Pr*	*Président*	*Univ-BBA*
M.Benaniba .S	*MCB*	*Encadreur*	*Univ-BBA*
M.khaldi .A	*MCA*	*Examinateur*	*Univ-BBA*
M.Saidani .L	*MCB*	*Examinateur*	*Univ-BBA*

Année Universitaire 2024/2025

Remerciements

Nous remercions le dieu qui nous a donné le pouvoir et nous a aidé à terminer ce modeste travail.

Nous tenons à remercier vivement notre promoteur monsieur "**BENANIBA.SAMIR** ".
Pour sa sollicitude, ses efforts qu'il a déployés pour nous aide, encourager conseiller et corriger.

Nous remercions particulièrement **M.AMEUR BRIKI, KAMEL ZITOUNI** et **M.DJENDI ZOUBIR, CHETOUAH FARID**. Responsable de laboratoire de génie mécanique et de génie civil, Pour son aide.

Nous remerciement tout le corps administratif de Département de Génie Mécanique.

Nous remercions particulièrement tous les professeurs qui nous ont enseigné pendent notre cursus universitaire, ainsi que toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de notre travail.

BECHTA AYACH

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A la mémoire de mes chers parents,Vous n'êtes plus de ce monde, mais votre amour ; vos valeurs et vos sacrifices continuent de guider chacun de mes pas.

Ce travail est le fruit de ce que vous m'avez appris : la persévérance, l'honnêteté et le courage.

Repostez en paix .Ce modeste hommage vous est dédié, avec tout mon amour et ma reconnaissance éternelle.

A ma chère famille :

Merci pour votre présence constante,votre affection sincère et vos encouragements qui mont porte dans les moments les plus difficiles.

Je dédie ce travail tout particulièrement à ma sœur Amira, mon frère Taher et mon ami Khalil pour leur soutien inestimable, leur patience et leur amour.

Vous avez été ma force dans ce parcours.

Nomenclatures

N :symbole du newton, l'unité de mesure de la force dans le Système international (SI).

E :désigne le module d'Young, aussi appelé module d'élasticité longitudinal.

C (ou parfois Rc) désigner la résistance à la compression d'un matériau

Rc :résistance à la compression (MPa)

F :charge à la rupture (en newtons)

S :surface de chargement (en mm^2)

Rf :résistance à la flexion (MPa)

F :charge maximale appliquée (N)

L :portée entre appuis (mm)

b :largeur de l'éprouvette (mm)

h :hauteur de l'éprouvette (mm)

Symboles Grecs

µ :exprimer une déformation spécifique ou une variation dimensionnelle relative très petite, notamment dans le domaine de la mécanique des matériaux, du génie civil ou de la thermique.

Å :représente l'ångström, une unité de longueur.

Liste des figures:

Figure 1.1 : Classification des fibres végétales selon leur. origine. 07
Figure 1 .2 : La structure d'une fibre végétale. 07
Figure 1. 3: Structure d'une fibre végétale. 07
Figure 1. 4 : Schéma structurale de la cellulose (n répétitions cellobiose). Figure 1.5 : Structure d'une microfibrille de cellulose. 08
Figure 1.6 : Représentation les composant de la lignine 09
Figure 1.7 : Vue en trois dimensions du complexe glucidique de la lignine dans la cellule végétale. 09
Figure 1.8 : Structures chimiques des unités de base de l'hémicellulose . 10
Figure 1.9 : Structure d'un type dexyloglucane. 10
Figure 1.10 : schéma structurale d'une chaine de pectine. 11
Figure 1.11 : Photo de plante Alfa (ADDOUR, Novembre 2019). Figure 1.12 : Touffes d'alfa.
Figure 1.13 : Morphologie de la plante d'Alfa. 14
Figure 1.14 : Limites naturelles des hautes plaines occidentales algériennes. Figure 1.15 : Objets traditionnels à base de tige d'Alfa. 18
Figure 1.16 : Champ de pâturage d'Alfa. Figure 1.17 : Illustrations de la pâte d'Alfa. 18
Figure 2.1: comparaison des affaissements des mortiers résineux (Yeon ,10). 28
Figure 2.2 : effet du temps de maturation sur la résistance à la compression (Haider ,16). 28
Figure 2.3: courbe charge-déplacement d'un micro-mortier de résine en traction par flexion trois point (Mirouzi ,17). 29
Figure 2.4: résistances en fonction de la quantité de polymère (Vipulanandran, 89). 29
Figure 2.5: la résistance à la compression et le pourcentage de la perte en résistance du Mortier polymère après 1 mois d'immersion dans diverses solutions corrosives (A) et (B) à différentes durées d'immersion dans l'eau. 30
Figure 2.6: feuilles de marbre en BP. Figure 2.7 : sol résine extérieur. 33
Figure 2.8: canal de drainage en BP. 33
Figure 2.9: bassin de rétention ville DeTroyes. 33
Figure 2.10 : bâti d'une machine de tournage en béton polymère [EMA-07]. Figure 2.11: revêtement de plancher Industriel. 33
Figure 2.12 : mortier époxy coloré auto Lissant pour sols. Figure 2.13 : mortier de réparation à Base de résine époxy. 35
Figure 2.14: la résine époxy pour améliorer L'étanchéité en construction. 35
Figure. 2.15 : Strohbauernhof Gliott. Suisse Architecte et Photo : Atelier Werner Schmidt .
Figure 2.16: Wall'Up Préfa, leader du béton de chanvre en préfabriqué depuis 2019, a réalisé cette levée de fond dans le cadre de France 2030, Schneider Electric Energie Access et Altur Investissement. 38
Figure 2.17 Mosaïque des fibres végétales utilisées dans la construction (Photo : tableau en annexe). 40
Figure 2.18 Roue des fonctions appliquées à la construction. 41
Figure 3.1: Representation schématique d'un matériau composite [8]. 45
Figure 3-2 : Principaux constituants d'un mortier. Figure 3-3 : présente le mortier 46
Figure 4-4 : Les différentes étapes de la fabrication du ciment. 47
Figure 3-5 : La composition du ciment 47
Figure 3 .6: Fibre d'Alfa utiliser dans ce travail. 49
Figure 3-7 : Préparation de la fibre Alfa (a) Principales parties de la feuille d'Alfa, (b) les feuilles d'Alfa après nettoyage. 50
Figure 3-8: préparation de la solution de NaOH. Figure 3-9 : Les caractérisations du NAOH.
Figure 3-10: Les fibres d'Alfa été immergée dans une solution de NaOH. 51

Figure 3-11 : Sécher les échantillons a la température ambiante pendant 24 heures. Figure 3-12 : Découpage les fibres d'Alfa en longueur de 2cm. 51
Figure 3-13 : Moule triple haute précision en acier utilisé durant l'élaboration. Figure 3-14 : Les dimensions d'une éprouvette. 57
Figure 3-15 : Préparation du mortier (ciment, l'eau, sable). Figure 3-16: Préparation de la résine et la fibre d'Alfa. 60
Figure 3-17 : Préparation de matériaux composite. Figure 3.18: Moulage de contact. 60
Figure 3.19 : Les éprouvettes des moules triples haute précision pour les neufs échantillons. Figure 3-20: Résultats des essaies de compression. 61
Figure 3-21 : Résultats des essaies de flexion. 61
Figure 4.1 : Courbe graphique du résultat de compression. Figure 4.2 : Courbe graphique des résultats de flexion. 63
Figure 4.3 : Courbe graphique compression / flexion. 64
Figure 4.4 : Flexion en fonction de la résine et la fibre d'Alfa 65

Liste des tableaux :

Tableau 1.1 : Composition chimique en pourcentage des constituants des fibres végétales. 05
Tableau 1.2 : Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales. 05
Tableau 1.3 : Propriétés mécaniques en traction de quelques fibres végétales. 05
Tableau 1.4 : Avantages et inconvénients des fibres végétales comme renfort de matériaux 06
Tableau 1.5 : Structure chimique de certaines fibres végétales. 12
Tableau 1.6 : Estimation de la répartition de l'Alfa en 2012 15
Tableau 1.7 : Composition chimique de la fibre d'alfa. 16
Tableau 2.1 : caractéristiques générales et applications des bétons polymère(91). 25
Tableau 2.2 : Comparaison des types de résine. 36
Tableau 2.3 : Domaine d'application des mortiers de résine (Elhabib et Tounsi, 18). 36
Tableau 3.1 Formulation conseillée du béton (à base de ciment Matine). 45
Tableau 3.2.Analyse chimique. 45
Tableau 3.3 Composition minéralogique du clinker (Bogue). Tableau 3.4 Propriétés physiques.
Tableau 3.5 Propriétés physiques Temps de prise a20°(NA230). 48
Tableau 3.6 Propriétés physiques du sable de Boussaâda. 49
Tableau 3.7 Caractéristique chimique de l'eau utilisée. 51
Tableau 3. 8 DESCRIPTION DU PRODUIT : SikaLatex. 57
Tableau 3.9 : préparation de la résine et la fibre Alfa avec ciment, sable et l'eau pour les différentes proportions. 58
Tableau 4.1 : Résultat des essaies compression. 58
Tableau 4.2 : Résultat des essaies flexion. 58
Tableau 4.3 : Résultats compression / flexion.

Introduction

Introduction générale :

Les matériaux composites représentent une avancée majeure dans le domaine des matériaux d'ingénierie, offrant un compromis optimal entre légèreté, résistance mécanique et adaptabilité aux exigences spécifiques des applications industrielles **(1)**. Ces dernières années, les fibres naturelles ont suscité un intérêt grandissant en tant que renforts dans les composites, en raison de leur abondance, leur faible coût, leur caractère renouvelable, ainsi que leur impact environnemental réduit comparer aux fibres synthétiques traditionnelles **(2)**.

Parmi ces fibres naturelles, la fibre d'alfa, issue d'une plante herbacée largement cultivée dans les zones méditerranéennes et notamment en Algérie, se distingue par ses propriétés mécaniques prometteuses et sa disponibilité locale importante **(3)**. L'intégration de la fibre d'alfa dans une matrice composite à base de résine permet d'obtenir des matériaux composites respectueux de l'environnement tout en maintenant des performances techniques compétitives **(4)**.

La fibre d'alfa possède de bonnes propriétés mécaniques telles qu'une résistance à la traction, une légèreté et une rigidité, ce qui la rend adaptée au renforcement des matériaux composites. Son utilisation contribue à améliorer la résistance à la compression et à la flexion, notamment après un traitement chimique qui améliore l'adhérence entre la fibre et la matrice polymère. Elle constitue ainsi une solution efficace pour le développement de matériaux composites performants et respectueux de l'environnement **(5)**.

Ce mémoire a pour objectif principal d'évaluer les propriétés mécaniques des matériaux composites renforcés par la fibre d'alfa, afin de mieux comprendre leur comportement mécanique et d'optimiser leur formulation pour des applications industrielles durables.

Pour ce faire, le mémoire est structuré en quatre chapitres :

Le Chapitre 1 est intitulé « Généralités sur les fibres végétales et la fibre d'alfa », Ce chapitre présente une introduction aux fibres végétales, en insistant particulièrement sur la fibre

d’alfa, ses caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques. Il aborde également les matériaux de matrice, notamment les résines, qui servent de liant dans les composites.

Le Chapitre 2 est intitulé « État de l’art sur l’utilisation des fibres végétales dans les matériaux de construction et généralités sur les matériaux de réparation à base de résine », Une revue des recherches et applications récentes est réalisée afin d’évaluer le rôle des fibres naturelles dans les matériaux composites, leurs avantages, leurs limites, ainsi que les innovations récentes dans le domaine de la construction.

Le Chapitre 3 est intitulé « Caractérisations des matériaux de base et méthodologie d’essai ». Ce chapitre détaille les matériaux utilisés, les techniques de préparation des composites, ainsi que les méthodes expérimentales adoptées pour caractériser les propriétés mécaniques des matériaux.

Le Chapitre 4 est intitulé « résultats, discussions et conclusion ». Les résultats expérimentaux obtenus sont présentés et analysés. Une discussion approfondie permet de comprendre l’impact des fibres d’alfa sur les performances mécaniques des composites. Ce chapitre se termine par une conclusion synthétisant les principaux apports de la recherche et proposant des perspectives pour des études futures.

Chapitre 1 :

Généralité sur les fibres végétales et la fibre d'Alfa

Introduction		03
1.1	Généralité sur les fibres végétales	04
1.1.1	Définition des fibres végétales	04
1.1.2	Classification	04
1.1.3	Propriétés des fibres végétales	05
1.1.4	Avantages et inconvénients des fibres végétales	06
1.1.5	Structure et composition chimique d'une fibre végétale	07
1.1.5.1	La cellulose	08
1.1.5.2	Lignine	10
1.1.5.3	Hémicellulose	10
1.1.5.4	Les pectines	11
1.1.5.5	Les cires	11
1.2	La fibre d'Alfa	13
1.2.1	Présentation de la plante Alfa	13
1.2.2	Morphologie	14
1.2.3	Répartition géographique	15
1.2.4	Structure chimique	16
1.2.5	Domaine d'application	16
Conclusion		19
Références		20

Introduction :

Les fibres végétales naturelles constituent une source abondante et renouvelable de matériaux utilisés depuis longtemps dans diverses applications, allant du textile à la fabrication de matériaux composites. Issues de différentes parties des plantes, comme les feuilles, les tiges ou les graines, ces fibres présentent des propriétés mécaniques intéressantes, associées à leur faible densité, leur biodégradabilité, et leur faible coût de production (4).

Parmi les fibres végétales, les fibres foliaires, telles que la fibre d'alfa, occupent une place importante. La fibre d'alfa est extraite des feuilles d'une plante herbacée méditerranéenne appelée ***Stipa tenacissima L***., communément appelée alfa ou esparto (3). Cette fibre est particulièrement répandue en Algérie, au Maroc et en Espagne, où elle est utilisée traditionnellement dans la fabrication de cordages, de papiers et de matériaux textiles (6).

La fibre d'alfa est appréciée pour ses caractéristiques mécaniques, notamment sa bonne résistance à la traction et sa rigidité, ainsi que pour sa légèreté (7). Sa composition chimique est typique des fibres lignocellulosiques, comprenant principalement de la cellulose, de l'hémicellulose, de la lignine, et des cires naturelles, ce qui influence directement ses propriétés physiques et son comportement dans les composites (8).

L'intégration de la fibre d'alfa dans des matériaux composites représente une alternative écologique aux fibres synthétiques, permettant de concevoir des matériaux performants, légers et respectueux de l'environnement. Cependant, pour exploiter pleinement son potentiel, il est essentiel de comprendre ses caractéristiques intrinsèques ainsi que son interaction avec les matrices utilisées (9).

1 Généralité sur les fibres végétales :

1.1 Définition des fibres végétales :

Les fibres végétales sont des structures fibreuses biologiques constituées de trois composants de base de la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. Elles sont également composées de petites proportions de matières extractibles, de protéines et de certains composés inorganiques. Les proportions de ces composants varient considérablement selon le type de fibres végétales (jute, bois, sisal, kénaf, etc.) et leur âge (10).

1.1.1 Classification :

Les fibres végétales sont divisées en cinq groupes selon leur origine **(Figure 1.1)**

- les fibres libériennes, extraites du liber : le lin, le chanvre et le kenaf,
- les fibres de feuille : l'abaca, la palme et le sisal,
- les fibres de graine : le coton et le kapok,
- les fibres de fruit : les noix de coco,
- les fibres des tiges : l'Alfa, les pailles de céréales, le bambou et le maïs **(11)**.

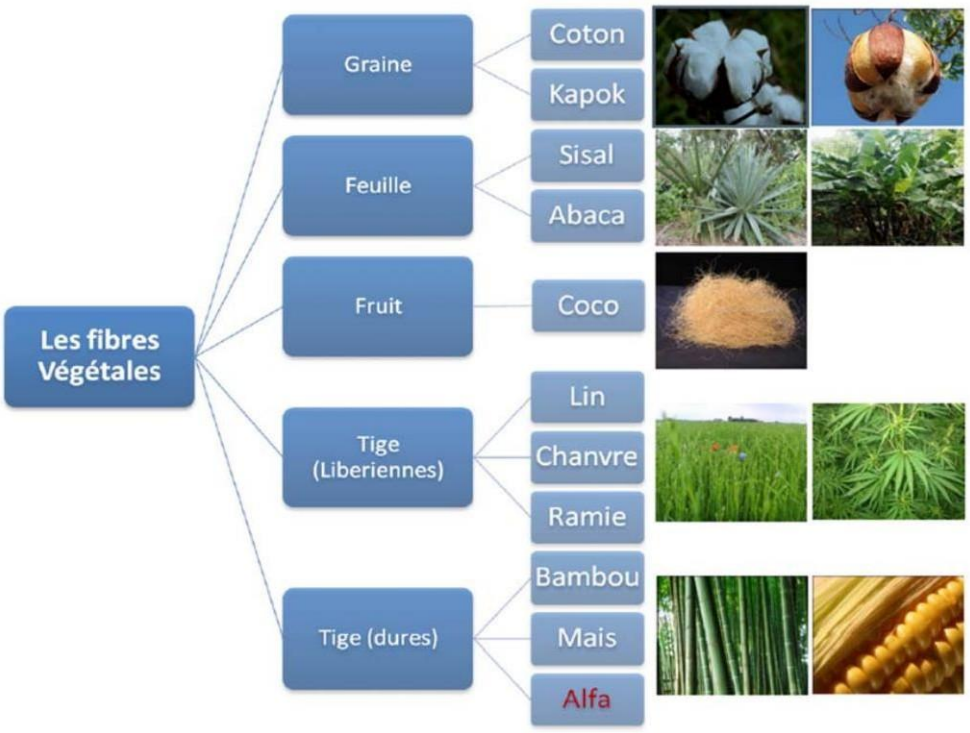


Figure 1.1 Classification des fibres végétales selon leur origine.

1.2 Propriétés des fibres végétales :

Les fibres végétales sont d'une manière générale de bons renforts pour les matrices thermoplastiques ou thermodurcissables à cause de leur résistance relativement grande et leur faible densité. Certaines caractéristiques des fibres de chanvre et de lin atteignent des valeurs très proches de celles des fibres de verre E **(Tableau 1.3)** . Les propriétés des fibres végétales présentent une variabilité très importante et cela est dû à leur origine, leur composition physico-chimique, leur structure, leur angle micro fibrillaire, leur section et leur pourcentage en cellulose **(Tableau 1.2)**.

Tableau 1.1 : Composition chimique en pourcentage des constituants des fibres végétales.

Fibres	*Cellulose*	*Hémicelluloses*	*Lignine*	*Pectine*	*Cire*
Coton	85-90	5,7	0,7-1,6	0-1	0,6
Lin	71	18,6-20,6	2,2	2,3	1,7
Chanvre	70-74	17,9-22,4	3,7-5,7	0,9	0,8
Jute	61,1-71,5	13,6-20,4	12-13	0,2	0,5
Ramie	68,6-76,2	13,1-16,7	0,6-0.7	1,9	0,3
Sisal	66-78	10-14	10-14	10	2
Coco	32-43	0,15-0,25	40,5	3	4
Alfa	45	24	24	5	2

Tableau 1.2 : Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales .

Nature des Fibres	*longueur (mm)*	*diametre (µm)*	*angle microfibrillaire(°)*	*ratio l/d*
lin	4-77	5-76	10	1687
Chanvre	5-55	10-51	6,2	960
Ramie	40-250	16-126	7,5	3500
kénaf (filasse)	1,4-5	14-23	-	124
kénaf (bois)	0,4-1,1	18-37	-	20
jute	-	25-200	8	110
sisal	0,8-8	7-47	20	100
noix de coco	0,3-1	12-24	45	35
pin	2,7-4,6	32-43	-	97
sapin	2,7-4,6	32-43	-	97
tremble	0,7-1,6	20-30	-	48
coton	35	19	33	1842
alfa	5-50	5-95	-	1964

Tableau 1.3 : Propriétés mécaniques en traction de quelques fibres végétales.

Fibres	*e (GPa)*	*δ (MPa)*	*all%*	*densité*
coton	5,5-12,6	287-597	7-8	1,5-1,6
lin	58	1339	3,27	1,53
chanvre	35	389	1,6	1,07
jute	26,5	393-773	1,5-1,8	1,44
ramie	61,4-128	400-938	1,2-3,8	1,56
sisal	9-21	350-700	3-7	1,45
coco	4-6	131-175	15,40	1,15
alfa	12,7	75-154	1,6	1,51
verre e	70-86	2000-4570	2,5-2,8	2,5
aramide	63-67	3000-3150	3,3-3,7	1,4

1.2.1 Avantages et inconvénients des fibres végétales :

Dans le **tableau 1.1** présente les avantages et les inconvénients des fibres végétales comme renfort de matériaux composites. La biodégradabilité des fibres peut être considérée comme un avantage, mais elle peut présenter aussi un inconvénient. Pour le recyclage, c'est un avantage certain. De toute manière, il n'existe pas de pièces industrielles à durée de vie illimitée. Tout matériau est voué à devenir déchet. L'utilisation de ce type de matériau (à base de fibres végétales) impose, par une conception réfléchie, de placer la structure en matériaux composites en dehors des conditions de biodégradabilité. Cette démarche est appliquée depuis longtemps pour les ouvrages en bois qui sont très sensibles à certaines conditions d'environnement climatique extrêmes **(12)**.

Tableau 1.4 : Avantages et inconvénients des fibres végétales comme renfort de matériaux composites.

Avantages	Inconvénients
- **De bonnes propriétés mécaniques spécifiques (résistance et rigidité).Généralement, proches de celles des fibres de verre (module d'Young)** - **un recyclage facile (combustion) .** - **Faible coût** - **Neutre pour l'émission de CO2.** - **Ressource renouvelable** - **Demande peu d'énergie pour être produite.** - **Bonne isolation thermique et acoustique.** - **Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres.** - **Pas de résidus après incinération .** - **Non abrasif pour les outillages .**	- **Une méthode de mise en œuvre difficilement reproductible (non industrielle).** - **des propriétés physiques non reproductibles .** - **la quantité et la qualité des fibres dépendent de l'environnement et de l'humidité.** - **une reprise en eau importante : 8 ou 10 % du taux d'humidité.** - **une calibration difficile.** - **Fibres anisotropes.** - **Renfort discontinu.** - **Pour des applications industrielles, demande la gestion d'un stock.**

1 Structure et composition chimique d'une fibre végétale :

Les fibres végétales sont principalement composées de cellulose, de lignine et d'hémicellulose, et contiennent également une petite quantité de protéines, d'extraits et décomposés inorganiques. Chaque fibre est considérée comme un composé de plusieurs fibrilles en raison du rôle de la lignine en tant que matrice de revêtement, qui est un composant très rigide par rapport à la cellulose, comme indiqué dans **la figure 1.2** .

Selon la nature de la fibre, sa composition chimique diffère et se compose principalement de polymères attribués aux sucres glucidiques qui sont associés à la lignine et à d'autres éléments, mais en quantités différentes et faibles **(13)**.

Les propriétés globales des fibres sont influencées par les différentes caractéristiques de leurs composants. Par exemple, l'hémicellulose joue un rôle dans l'absorption de l'humidité, la bioluminescence et la pyrolyse, tandis que la lignine est l'élément le plus thermiquement stable et protège contre la dégradation due aux rayons ultraviolets.

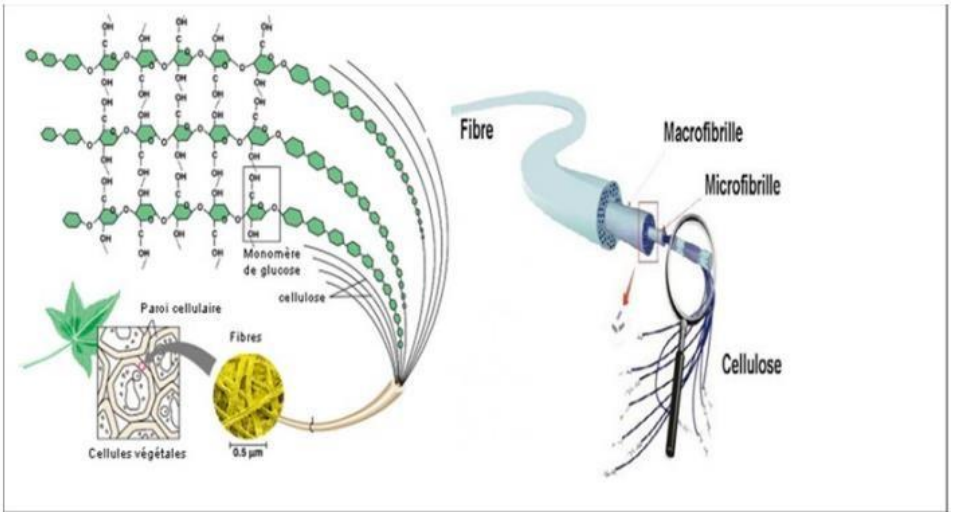


Figure 1.2 : La structure d'une fibre végétale.

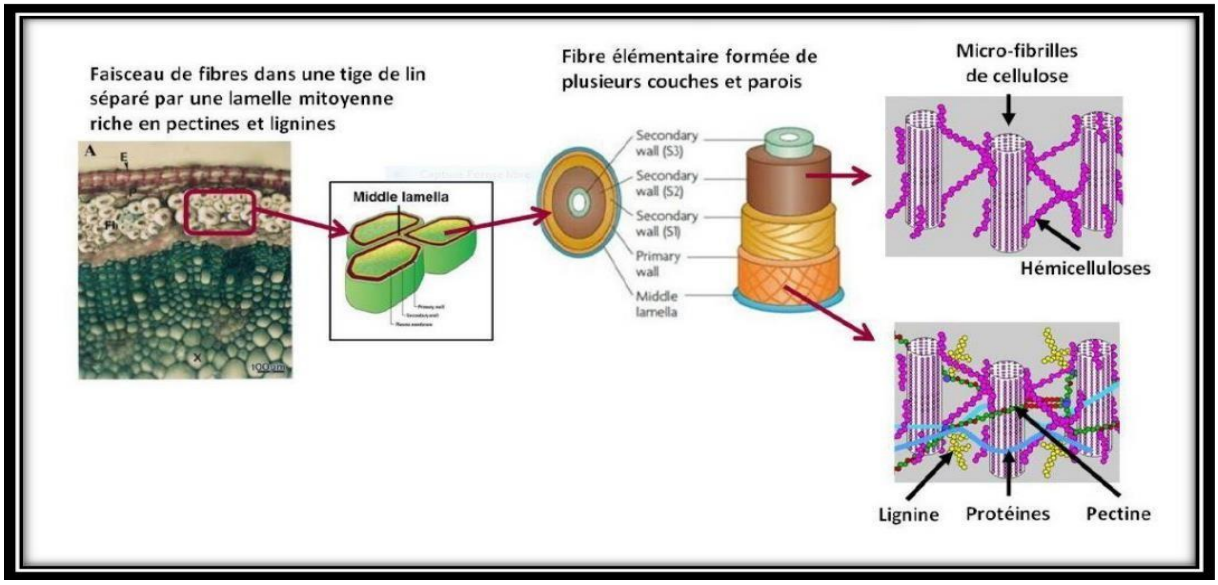


Figure 1.3: Structure d'une fibre végétale.

1.2.1.1 La cellulose :

La cellulose est un élément constitutif essentiel de toutes les plantes, représentant la molécule la plus abondante sur notre planète et un composant essentiel de la paroi cellulaire pour de nombreuses plantes **(14)**.

La cellulose, faisant partie de la famille des polysaccharides, est une formule chimique (C6H10O5) n, où n représente le degré de cristallisation. C'est un homopolymère naturel constitué de chaînes de D- glucanes, avec des groupes hydroxyle libres aux positions 2,3 et 6. Sa longueur de modèle est d'environ 10,3 Å, et les groupes périphériques contiennent des fonctions alcool et aldéhyde, comme indiqué dans **la figure 1.4** .

En fonction de son origine, de son traitement et de ses différentes caractéristiques telles que la cristallisation et la porosité, nous pouvons facilement obtenir et interagir avec cette substance. Ce composant est utilisé dans plusieurs domaines, notamment dans l'industrie du papier, ainsi que dans le secteur chimique pour la production de plastiques et de fibres textiles artificielles **(15)**.

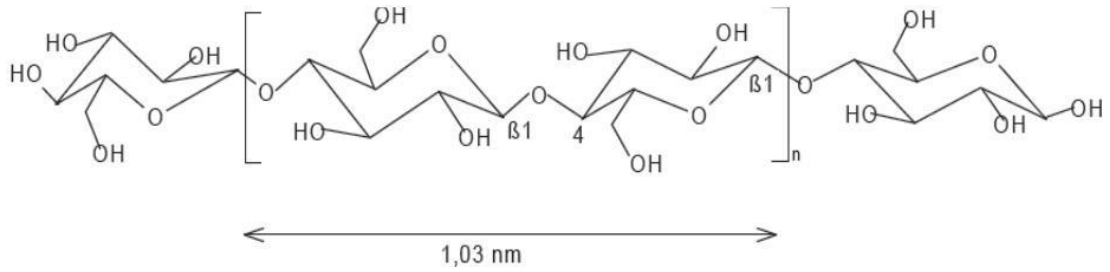


Figure 1.4 : Schéma structurale de la cellulose (n répétitions cellobiose) .

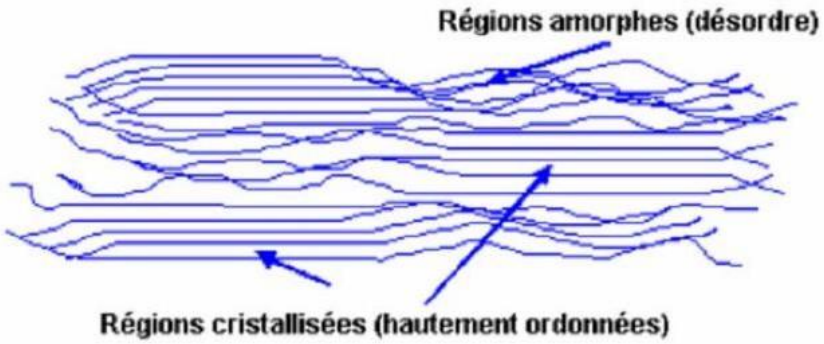


Figure 1.5 : Structure d'une microfibrille de cellulose.

1.1.1.1 Lignine :

La lignine est l'une des matières organiques les plus abondantes sur Terre après la cellulose, représentant environ 15 à 30 % de celle-ci. C'est un polymère aromatique tridimensionnel qui n'est que partiellement soluble dans l'eau et présente une grande résistance à l'hydrolyse par les enzymes bactériennes.

La lignine est responsable de la dureté du bois et des plantes. Elle est le résultat d'une combinaison de trois alcools (l'alcool coumarylique, l'alcool sinapylique et l'alcool conifférylique), comme illustré dans **la figure 1.6**.

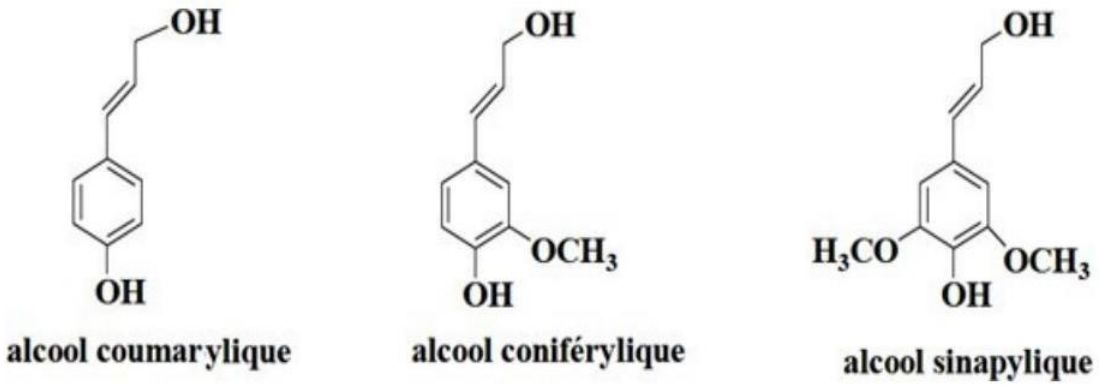


Figure 1.6 : Représentation les composant de la lignine.

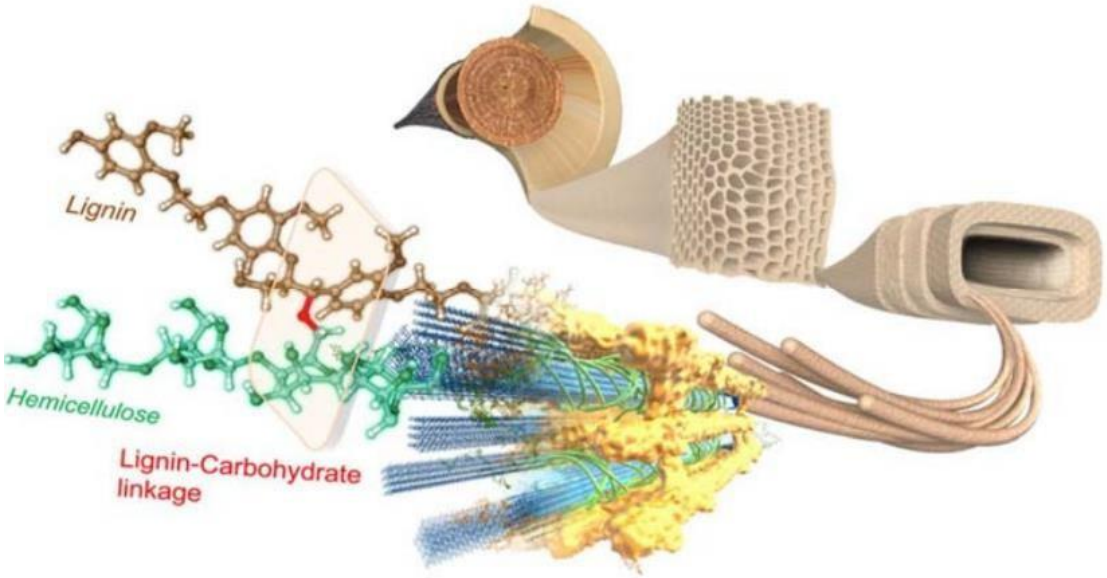


Figure1.7 : Vue en trois dimensions du complexe glucidique de la lignine dans la cellule végétale.

1.1.5. 3Hémicellulose :

L'hémicellulose est un biopolymère appartenant à la famille des glucides. Ses molécules sont hétérogènes et ont une structure moins ordonnée que la cellulose. Ses composants sont connus sous le nom de Zyloglucates. L'hémicellulose est constituée de différents sucres neutres tels que : Arabinose, Xylose, Glucose, Galactose, Mannose, les acides uroniques et des courtes chaînes latérales. L'hémicellulose peut être extraite de la paroi cellulaire par des solutions alcalines et présentes la caractéristique d'être soluble dans l'eau **(Figure 1.7)**.

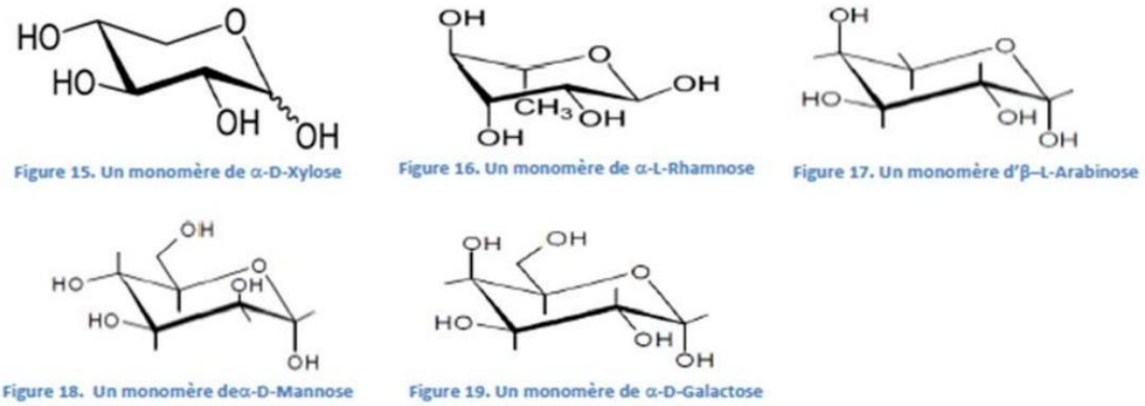


Figure 1.8 : Structures chimiques des unités de base de l'hémicellulose .

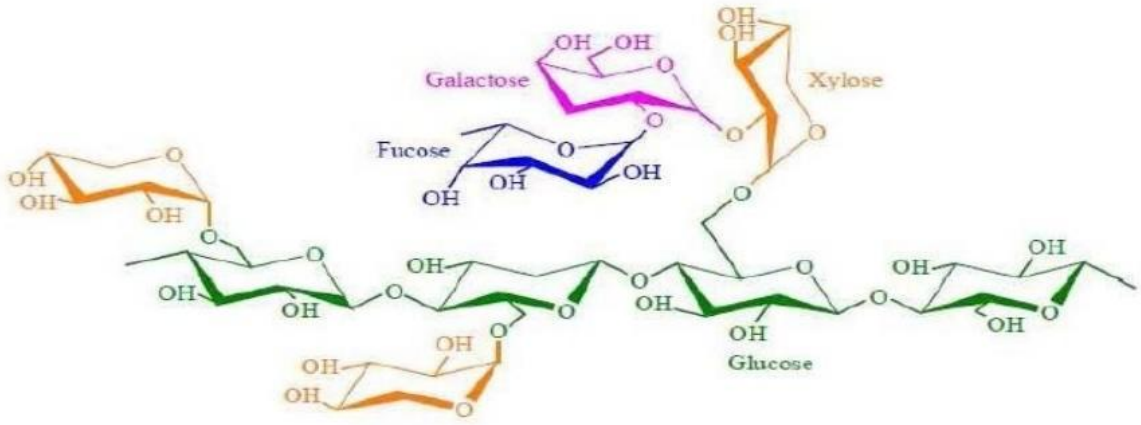


Figure 1.9 : Structure d'un type dexyloglucane.

1.1.5.4 Les pectines :

Les pectines sont un ancien mot grec signifiant "caillé épaissi". Les pectines sont

une substance microscopique de nature glucidique, principalement composée d'acide galacturonique. En raison de ses propriétés acides, l'épiderme est très soluble et peut être décomposé par des enzymes. Les pectines, tout comme l'hémicellulose, sont composées de polysaccharides. La différence entre elles réside dans le fait que la pectine contient des groupes carboxyles, contrairement à l'hémicellulose.

En plus de l'ordre des granulés sont à celles de la cellulose, les pectines présentent des chaînes linéaires avec des groupes carboxyles, ce qui permet la formation de fortes liaisons hydrogène entre les chaînes, comme illustré dans **la figure 1.10**.

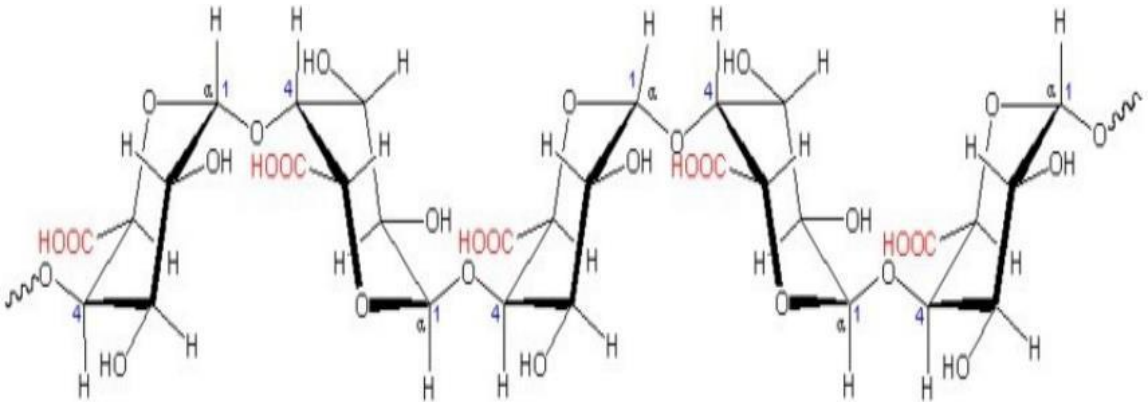


Figure 1.10 : schéma structurale d'une chaine de pectine.

1.1.5.5 Les cires :

Les cires sont des composés chimiques cireux qui agissent comme une protection physique des plantes contre les conditions naturelles et les insectes. Elles sont présentes sur la mince couche extérieure des tiges. Elles sont essentiellement constituées d'acides gras, d'hydrocarbures, d'esters de cire de cétyle, et d'alcool **(14)**.

La composition des fibres végétales est influencée par des facteurs tels que leur origine, la méthode d'extraction et les conditions climatiques dominantes. **Le tableau 1.4** présente certaines fibres végétales **(16)**.

Tableau 1.5 : Structure chimique de certaines fibres végétales.

types des Fibres	*cellulose %*	*lignine %*	*hémicellulose %*	*pectine%*	*cendres%*
lin	71	2,2	18,6-22,6	2,3	-
kenaf	31-57	15-19	21,5-23	-	2-5
jute	45-71,5	12-26	13,6-21	0,2	0,5-2
chanvre	57-77	3,7-13	14-22,4	0,9	0,8
ramie	68,6-91	0,6-0,7	5-16,7	1,9	-
abaca	56-63	7-9	15-17	-	3
sisal	47-78	7-11	10-24	10	0,6-1

1.1 La fibre d'Alfa :

La connaissance approfondie de cette graminée a préoccupé depuis longtemps plusieurs chercheurs. L'étude de cette plante, sa biologie et son écologie ont attiré l'attention de TRABUT dès 1889. Parmi les espèces les plus fréquentes et les plus représentatives des formations végétales des hautes plaines algériennes, l'Alfa reste la plus importante. En Algérie, les groupements à Alfa s'étendant sur plus 3.5 millions d'hectare répartis sur les hautes plaines sur les mi-versants ainsi que sur les piedmonts de l'Atlas saharien **(17)**.

1.1.1 Présentation de la plante Alfa :

L'Alfa, également connue sous le nom scientifique Stipa Tenacissima, est également appelée Esparto grass ou Esparto en anglais. Originaire des régions arides de l'ouest du bassin méditerranéen, cette plante est présente en Afrique du Nord, du Maroc à la Libye, ainsi qu'en Europe du Sud, notamment en Espagne et en Italie. Sous le nom d'alfa, elle recouvre de vastes zones des hauts plateaux algériens **(18)**.

L'Alfa est une plante pérenne qui survit pendant l'hiver et pousse de manière indépendante en formant des nappes. En raison de sa faible consommation d'eau, elle est endémique dans les zones les plus arides de la région méditerranéenne. Au sud, sa limite naturelle est déterminée par la sécheresse. Là où l'alfa cesse de pousser, le désert commence. Au nord et à l'ouest, c'est l'humidité croissante du climat qui élimine cette plante de la flore **(Figure 1.11)**.

Figure 1.11 : Photo de plante Alfa (ADDOUR, Novembre 2019).

Figure 1.12 : Touffes d'alfa.

1.2.2 Morphologie :

La plante d'Alfa est constituée deux parties principales la partie aérienne et la partie souterraine **(Figure 1.13)**. De bas en haut on trouve les racines avec une profondeur de plus d'un mètre le rhizome qui est une tige à partir de laquelle se développent les racines, et la partie aérienne qui est constituée de plusieurs branches portant des gaines emboitées les unes dans les autres surmontées de limbes de 30 à 120 cm de longueur. La face inférieure des limbes est légèrement brillante, la face supérieure porte de fortes nervures. L'une et l'autre sont recouvertes d'une cire isolante qui permet à la plante de résister à la sécheresse **(19)**.

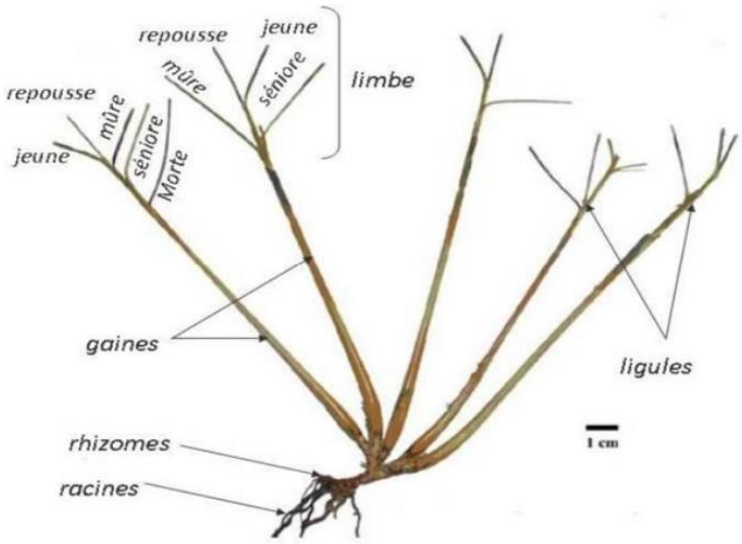


Figure 1.13 : Morphologie de la plante d'Alfa.

1.2.2 Répartition géographique :

L'Alfa (de l'arabe Halfa) ou Sparte (Esparto grass en Anglais) occupe une aire géographique bien délimitée. Originaire des régions arides et semi arides méditerranéennes à l'exclusion des secteurs désertiques: Afrique du Nord (le Maroc, l'Algérie la Tunisie, et la Libye) et Europe du Sud (l'Espagne, le Portugal et l'Italie) .

La localisation étroite de cette Graminée assure aux pays cités un monopole en ce qui concerne son exploitation et sa vente sous forme de produit brut. La répartition territoriale connue à ce jour est représentée dans le **(tableau 1.6).**

Tableau 1.6 : Estimation de la répartition de l'Alfa en 2012 **(19)**.

pays	*nombre d'hectares*
algerie	4.000.000
maroc	3.186.000
tunisie	600.000
lybie	350.000
espagne	300.000

En Algérie, l'alfa est abondante dans la région oranaise, depuis le littoral jusqu'aux monts des Ksours, sur les hauts plateaux de la région de Ksar Chellala, Djelfa, autour de Boussaâda, jusqu'aux montagnes d'Ouled Nail et autour de Laghouat. A l'est, elle se répartit surtout dans les régions ouest et sud de Sétif, les Bibans, Boutaleb et Maadi. Elle couvre également une partie importante des versants de montagnes du massif des Aurès (20-24). **(La figure 1.14)** montre les limites naturelles des hautes plaines occidentales algériennes ou l'alfa pousse.

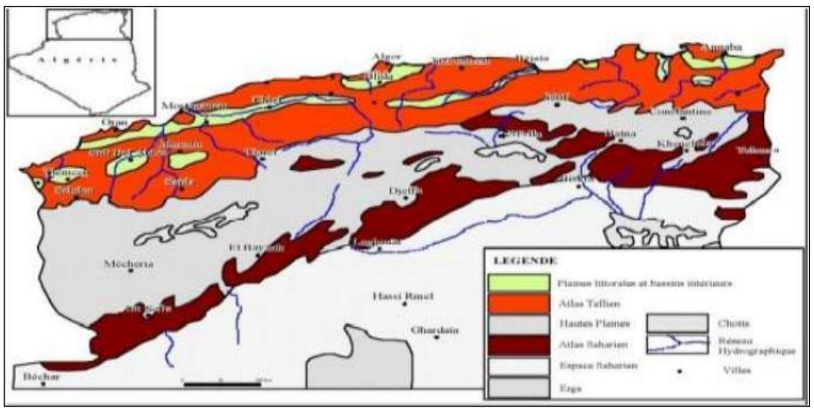


Figure 1.14 : Limites naturelles des hautes plaines occidentales algériennes .

1.2.3 Structure chimique :

La composition chimique des plantes varie en fonction des conditions climatiques de la région, de l'âge de la plante, de la composition du sol et des conditions de croissance. Le tableau 1.7 présente la composition chimique spécifique de l'alfa **(25)**.

Tableau 1.7 : Composition chimique de la fibre d'alfa.

	cellulose %	*lignine %*	*hémicellulose/ pectines %*	*cendres %*	*cires %*	*silica %*	*autres %*
akchiche et ses collaborateurs [17]	43,81	18,76	28,4	4,66	-	1,76	2,61
paiva et ses collaborateurs [19]	45	23	25	2	5	-	-
brahim et ses collaborateurs [20]	45	24	24	2	5	-	-
bouiri et ses collaborateurs [21]	47,63	17,71	22,15	5,12	-	-	7,39

1.2.4 Domaine d'application :

On peut classer les applications de l'Alfa en deux aspects principaux suivant :

- **Applications artisanales** : Les tiges brutes de la plante sont utilisées pour la confection d'objet et d'outils traditionnels par la population locale où l'Alfa est abondant. Elle est filée ou tressée et même tissée pour les cordages, les tapis, les paniers et d'autres objets à usage quotidien **(Figure 1.15)**.

Figure 1.15 : Objets traditionnels à base de tige d'Alfa.

- **Pâturage** : l'Alfa pousse dans des zones sèches et arides, ce qu'il fait d'elle une source de nourriture pour les animaux sauvages tels que la gazelle et d'autres animaux herbivores Pour les nomades, cette région est ainsi une zone de pâturage pour les chameaux, bovins et moutons **(Figure 1.16)**.

Figure 1.16 : Champ de pâturage d'Alfa.

- **Combustible** : Le pouvoir calorifique très énergétique de l'Alfa varie respectivement de 4666 kcal/kg pour les brins d'un an et de 5160 et 5163 kcal/kg pour les brins âgés de deux ans et de trois ans. Ceci lui confère un usage énergétique important sous forme de briquettes combustibles en remplacement ou en appoint au bois de feu **(26)**.
- **La pâte à papier** : Les fibres d'Alfa, riche en cellulose, sont principalement utilisées dans la production de papiers de haute qualité (papier noble pour la décoration, les cigarettes et les applications diélectriques pour les condenseurs) **(Figure 1.15)**. Cela lui a donné une grande importance économique dans notre pays où la part de la pâte à papier à base d'Alfa dans la production nationale est de l'ordre de 12 000 à 70 000 T/an. Ce taux de production est en constante augmentation et pourra atteindre dans les dix prochaines années les 30 000 T/an **(27)**.

Figure 1.17 : Illustrations de la pâte d'Alfa.

- **Renfort** : La fibre d'Alfa est l'un des futurs renforts pour les matériaux composites Biodégradables (éco-composite). Par ses performances mécaniques, elle s'aligne avec la plupart des fibres naturelles, voire synthétique pour certains aspects. La fibre d'Alfa et ses applications génèrent en conséquence un intérêt croissant pour les scientifiques.

Conclusion :

Le chapitre I a permis de mettre en lumière l'importance croissante des fibres végétales comme ressources renouvelables dans le développement des matériaux composites. Ces fibres, notamment la fibre d'alfa, se distinguent par leurs caractéristiques mécaniques intéressantes, leur faible densité, ainsi que leur disponibilité locale et leur impact environnemental réduit. La fibre d'alfa, en particulier, grâce à sa composition lignocellulosique riche en cellulose, hémicellulose et lignine, présente un potentiel significatif pour le renforcement des composites.

Cependant, l'intégration efficace de ces fibres dans des matrices polymériques nécessite une compréhension approfondie de leurs propriétés physiques, chimiques et mécaniques. Cette connaissance est essentielle pour optimiser la compatibilité fibre-matrice et améliorer les performances globales des matériaux composites.

Ainsi, cette première étape fondamentale pose les bases nécessaires pour l'étude détaillée des applications des fibres végétales dans les matériaux composites, en particulier dans le contexte de l'évaluation des propriétés thermiques des composites à base de fibre d'alfa, objet des chapitres suivants.

Références :

[1] Mallick, P.K. (2007). *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*. CRC Press.

[2] Pickering, K.L., Efendy, M.G.A., & Le, T.M. (2016). A review of recentdevelopments in natural fibre composites and theirmechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 98-112.

[3] Benyoucef, S., Djerrou, Z., &Mansouri, A. (2010). Étude des propriétés mécaniques des composites renforcés par la fibre d'alfa. *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, 20(3), 123-130.

[4] John, M.J., & Thomas, S. (2020). Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 71(3), 343- 364.

[5] Boudenne, A., Ibos, L., Fois, M., &Gehin, E. (2006). Thermal and acousticcharacterization of new composites based on hempfibers. *Materials and Design*, 28(5), 1564-1571 .

[6] Mebarki, N., Derradji, M., &Chikouche, M. (2016). Valorisation des fibres d'alfa dans les composites à matrice polymère. *Journal Algérien des Matériaux*, 7(1), 45-52.

[7] Boufi, S., Djazouli, Z., & Boumediene, M. (2015). Caractérisation physique et mécanique des fibres d'alfa. *Journal of Natural Fibers*, 12(4), 317-326.

[8] Saidane, D., Benyahia, B., & Larbi, M. (2018). Étude de la composition chimique des fibres végétales : cas des fibres d'alfa. *Revue des Sciences et Technologies*, 25(2), 89-97.

[9] Khalil, H.P.S.A., Bhat, A.H., &Jawaid, M. (2012). Cellulose Fibers and TheirReinforced Composites: A Review. *Carbohydrate Polymers*, 87(1), 1-18.

[10] GASMI, S., & BELGUENDOUZ, C. (2020). Elaboration et caractérisation d'un matériau composite renforcé par les fibres de paille de blé (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).

[11] K. Borchani, « Développement d'un composite à base d'un polymère biodégradable et de fibres extraites de la plante d'Alfa », Thèse de L'École Nationale d'Ingénieurs de Sfax, 2016.

[12] La ETDE, Scientifique R, Obtenir P, Diplôme LE, En DEM, Mécanique G.

Présenté par Mademoiselle BENMEDDOUR DJAMILA Elaboration et caractérisation d ' un matériau composite à base de fibre végétale : Application à la plante d ' Alfa . 2012;2011–

[13] S. BOUHANK, Elaboration de matériaux composites PVC/fibres de Genêt d'Espagne:Formulations et caractérisations, 2017.

[14] M. ROKBI, H. OSMANI, L'effet des traitements de surface des fibres sur les propriétésmécaniques de composites Polyester-fibres Alfa, Congrès français de mécanique, AFM,Maison de la Mécanique, 39/41 rue Louis Blanc, 92400 Courbevoie, France …, 2011.

[15] D. Sedan, Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment: influence sur les propriétés mécaniques du composite, Limoges, 2007.

[16] E. Rogge, Extraction et étude des propriétés physiques et mécaniques des fibres d'Alfa(Espartograss) en vue d'applications textiles, Mémoire de maîtrise pour l'obtention du gradeacadémique de master, Génie des matériaux, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs SudAlsace (UHA, Mulhouse, France), Année universitaire, (2010).

[17] Site web: arabistar.blogspot.com/2012/03/generalites-sur-lalfa.html (Arabistar : Le spécialiste de la flore en Algérie).

[18] A. Omar, M.B. Khadra, Espartograss (Stipa tenacissima L.), rawmaterial ofpapermaking. First part, Химиярастительногосырья, (2007).

[19] M. Dallel, « Evaluation du potentiel textile des fibres d'Alfa (Stipa Tenacissima L.) caractérisation physico-chimique de la fibre au fil », Thèse de l'Université de Haute Alsace, 2012.

[20] Site web: arabistar.blogspot.com/2012/03/generalites-sur-lalfa.html (Arabistar : Le spécialiste de la flore en Algérie).

[21] Laumont P, Berbigier A. L'Alfa et l'Expérimentation alfatière en Algérie. Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée 1953;33:125-40.

[22] Maghchiche A, Haouam A, Immirzi B. Extraction and characterization of Algerian Alfa grass short fibers (Stipa Tenacissima). Chemistry&ChemicalTechnology 2013:339-44.

[23] Brahim SB, Cheikh RB. Influence of fibre orientation and volume fraction on the tensileproperties of unidirectional Alfa-polyester composite. Composites Science and Technology2007;67:140-7.

[24] Ozenda P., 1954. Observation sur la végétation d'une région semi-aride: Les Hauts Plateaux du sud algérois. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, 45 (3-4): 189-223. Alger.

[25] B. Bouiri, M. Amrani, Production of dissolving grade pulpfrom Alfa, BioResources, 5(2010) 291- 302.

[26] W. Wang et al., « Manothermosonication (MTS) treatment by a continuous-flow system: Effects on the degradationkinetics and microstructural characteristics of citrus pectin », Ultrason. Sonochem., vol. 63, p. 104973, mai 2020.

[27] S. Ben Brahim et R. Ben Cheikh, « Influence of fibre orientation and volume fraction on the tensileproperties of unidirectional Alfa-polyester composite », Compos. Sci. Technol., vol. 67, no 1,
p. 140-147, janv. 2007.

Chapitre 2 :

Généralité sur les matériaux de réparation –résine-

Introduction 22
2-1 Définition de la résine 23
2-2 la classification de la résine 23
2-2-1 Les résines naturelles 23
2-2-2 Les résines synthétiques 24
2-3 Les types de la résine 24
2-4 Propriétés des mortiers résineux 26
2-4-1 Propriétés des mortiers résineux à l'état frais 26
2-4-2 Propriétés des mortiers résineux à l'état durci 27
2-4-2-1 Résistance à la compression 27
2-4-2-2 Résistance à la traction par flexion 28
2-4-3 Module d'élasticité 30
2-4-4 Durabilité des mortiers résine 30
2-5 Les avantages de la résine dans la construction 31
2-6 Comparaison des types de résine pour béton 32
2-7 Domaine d'application de la résine 32
2-7-1 la préfabrication 32
2-7-2 Revêtement des planchers et chaussées 33
2-7-3 Réparation et réhabilitation des structures 35
2-7-4 Recyclage des déchets 37
2-8 L'état de l'art sur l'utilisation des fibres végétales dans les matériaux de construction 38
2-9 Les mélanges terre et fibre végétale 40
2-10 Des briques en mousse végétale et fibre de lin 40
2-11 Mosaïque des fibres végétales utilisées dans la construction 40
2-12 Les fibres végétales répondent à plusieurs fonctions de la construction 41
Conclusion 41
Références 43

Introduction :

Dans le domaine de la construction, les structures sont continuellement soumises à diverses sollicitations mécaniques, environnementales et chimiques qui peuvent entraîner leur dégradation au fil du temps. Ces phénomènes d'altération, tels que les fissures, l'usure ou la corrosion, compromettent la durabilité et la sécurité des ouvrages, ce qui nécessite la mise en œuvre de techniques de réparation adaptées.

Parmi les matériaux utilisés pour la réparation, les **résines** occupent une place prépondérante en raison de leurs propriétés mécaniques, chimiques et adhésives remarquables. Ces matériaux polymères, qui peuvent être formulés pour offrir une grande résistance, une bonne adhérence aux supports existants, ainsi qu'une excellente résistance à la corrosion et aux agents extérieurs, constituent une solution efficace pour restaurer l'intégrité des structures endommagées.

Ce chapitre vise à présenter une étude approfondie des matériaux de réparation, en mettant un accent particulier sur les résines utilisées dans le secteur du bâtiment. Il abordera les différentes catégories de résines, leurs caractéristiques techniques, les méthodes d'application ainsi que les avantages et limites associées à leur emploi. Par ailleurs, des exemples concrets d'utilisation et des innovations récentes dans ce domaine seront également analysés afin de mieux comprendre l'impact de ces matériaux sur la durabilité et la performance des ouvrages réparés.

Généralité sur les matériaux de réparation –résine-

2.1 Définition de la résine :

La résine est un polymère pouvant se présenter sous forme visqueuse ou solide, obtenu soit de manière naturelle (comme les résines issues des végétaux), soit par synthèse grâce à la polymérisation de monomères organiques. Dans les domaines de la construction et de la réparation, ce sont principalement les résines synthétiques qui sont employées. Ces matériaux, thermodurcissables ou thermoplastiques, se distinguent par leur capacité à durcir via une réaction chimique, donnant naissance à un produit rigide et adhésif **(1),** une résine est une substance polymère organique utilisée comme liant dans les composites ou comme matériau d'adhésion, grâce à ses propriétés mécaniques, chimiques et thermiques spécifiques. Parmi les résines synthétiques, les époxydes, polyesters insaturés et polyuréthanes sont particulièrement prisés dans la réparation des structures en béton, en raison de leur excellente adhérence, leur résistance aux agents chimiques et leur flexibilité mécanique

(2).

En conclusion, la résine est un matériau essentiel pour les travaux de réparation, car elle permet de rétablir l'intégrité structurelle tout en augmentant la durabilité des interventions grâce à ses propriétés polymères remarquables.

2.2 La classification de la résine :

Les **résines** sont essentiellement divisées en résines naturelles et en résines synthétiques.

2.2.1 Les résines naturelles :

sont des mélanges de produits végétaux solides, amorphes, non volatils et lipophiles. Après des blessures naturelles ou artificielles, elles émergent sous forme de masse visqueuse de certaines plantes, principalement des arbres. Elles sont dissoutes dans une huile essentielle comme l'essence de térébenthine — on les appelle alors « baumes » **(en)** ou « oléorésines ». Les résines émergent de la plante sous forme d'émulsions, ou de suspensions, dans des solutions aqueuses de mucilage, avec un peu d'huile essentielle ; après séchage, elles sont appelées « gomme-résine».

Les résines servent probablement aux plantes principalement pour refermer les blessures et éloigner les insectes nuisibles. Dans le cas des baumes, la masse visqueuse durcit au fur et à mesure de l'évaporation des huiles essentielles, laissant la résine plus ou moins dure, jaunâtre à brunâtre. Les résines naturelles pures deviennent molles et finalement liquides lorsqu'elles sont chauffées. Elles sont presque insolubles dans l'eau, mais sont solubles dans les huiles essentielles ou grasses et dans les solvants non polaires. Contrairement aux résines pures, les résines de gomme ont également une partie soluble dans l'eau avec lmucilage **(3-4)**.

Historiquement, les résines ont eu de nombreuses utilisations, notamment la médecine, en construction navale et pour la peinture comme liants et vernis. Aujourd'hui, les résines naturelles sont largement remplacées par des résines synthétiques, notamment dans l'industrie.

2.2.2 Les résines synthétiques :

Ce sont utilisées aujourd'hui principalement dans le secteur industriel, mais aussi dans les secteurs artistiques et de la restauration. Dans l'industrie, elles servent d'intermédiaire réactif dans la production de matières thermodurcissables **(5)** et sont des composants de peintures et d'adhésifs. Ce sont des solides mous ou des substances très

visqueuses qui contiennent généralement des pré-polymères avec des groupes fonctionnels réactifs. Contrevenant aux recommandations de l'Union internationale de chimie pure et appliquée, les plastiques réticulés (plastiques thermodurcissables) sont parfois appelés « résines » dans l'industrie des plastiques **(6)** .

En peinture elles sont utilisées comme liant (peinture acrylique) et comme vernis de finition, en restauration comme liant pour les retouches et aussi comme vernis de finition.

2.3 Les types de la résine :

Les Résines utilisées sont méthacrylate, résine de polyester, résine époxy, vinylester résines et résines furanique. Les résines de polyester sont de résine les plus couramment utilisés pour le mortier polymère en raison de leur faible coût, de leur disponibilité facile et de leur bon fonctionnement propriétés. Les résines furanique sont également très utilisées dans les pays européens **(7)**.

Donc , Il existe plusieurs types de résines époxy disponibles sur le marché aujourd'hui. Chaque type possède ses propres caractéristiques et avantages. Les résines époxy les plus couramment utilisées pour les projets de réparation du béton sont les résines à base de polyuréthane et d'époxy-acrylique. Les résines de polyuréthane sont très élastiques et flexibles, ce qui leur permet de former une liaison solide avec la surface du béton sur laquelle elles sont appliquées.

Tableau 2.1 : caractéristiques générales et applications des bétons polymère.

Caractéristiques générales et applications des bétons polymères [91]	
Poly (méthacrylates de méthyle)	
Caractéristiques générales	Faible tendance à absorber l'eau, haute résistance au gel dégel, faible, retrait pendant et après la prise, très bonne résistance à l'attaque chimique et une durabilité aux agressions environnementales
Applications	Utilisé dans la fabrication d'escalier, des plaques de façade et des bordures de trottoir.
Résine polyester	
Caractéristiques générales	Une bonne adhérence à d'autres matériaux, une bonne résistance au gel dégel et aux attaques chimiques.
Applications	En raison de son faible cout, il est largement utilisé dans les panneaux, pour les bâtiments publiques et commerciaux, le carrelage, les tuyaux, les escaliers ainsi que pour la mise en œuvre de diverses pièces préfabriquées et coulés sur place dans les travaux de construction.
Résine époxy	
Caractéristiques générales	Forte adhérence à la plupart des matériaux de construction, faible retrait, résistance chimique élevée, bonne résistance au fluage et à la fatigue et faible absorption d'eau.
Applications	Les résines époxy sont relativement couteuses, elles sont principalement utilisé dans des applications spéciales, y compris dans le mortier pour sols industriels, les revêtements antidérapants pour les autoroutes, les revêtements pour murs extérieurs et les réparations des structures détériorées.
Résine furanique	
Caractéristiques générales	Ils sont des matériaux composites à haute résistance aux produits chimiques (milieux aqueuse acide ou basique), ils ont une forte résistance aux liquides organiques polaires tels que les cétones, les hydrocarbures aromatiques et les composés chlorés.
Applications	Les mortiers et mes coulis de résine furanique sont utilisés pour les fabrications des briques, des planchers et des revêtements qui résiste aux produits chimiques, aux températures élevées et aux chocs thermiques.

2.4 Propriétés des mortiers résineux

2.4.1 Propriétés des mortiers résineux à l'état frais :

2.4.2 L'ouvrabilité :

L'ouvrabilité est un terme général utilisé dans la description des propriétés du mortier frais. Le coût élevé des résines a incité les chercheurs à trouver une solution pour réduire le taux du liant dans le mortier tout en conservant une mise en œuvre aisée.

[**Madhukumar et al.04**] Ont introduit une teneur en résine de 9,4% dans un mortier polymère. Ils ont trouvé une bonne ouvrabilité adaptée à de mortier résine applications. Néanmoins, pour un dosage en résine de 12% de liant, ils ont constaté une ségrégation plus importante.

L'addition de cendres volantes, sous-produit de la combustion du charbon, dans la composition des mortiers résineux a été rapportée par plusieurs auteurs. Ils ont montré que ceci conduit à l'amélioration de l'ouvrabilité du mortier polymère.

[**Yeon et al, 10**] Ont trouvé que le type, la forme et la taille des granulats ont un effet important sur l'ouvrabilité d'un mortier résineux.la figure 2.1 montre la comparaison des affaissements des mortiers résineux.

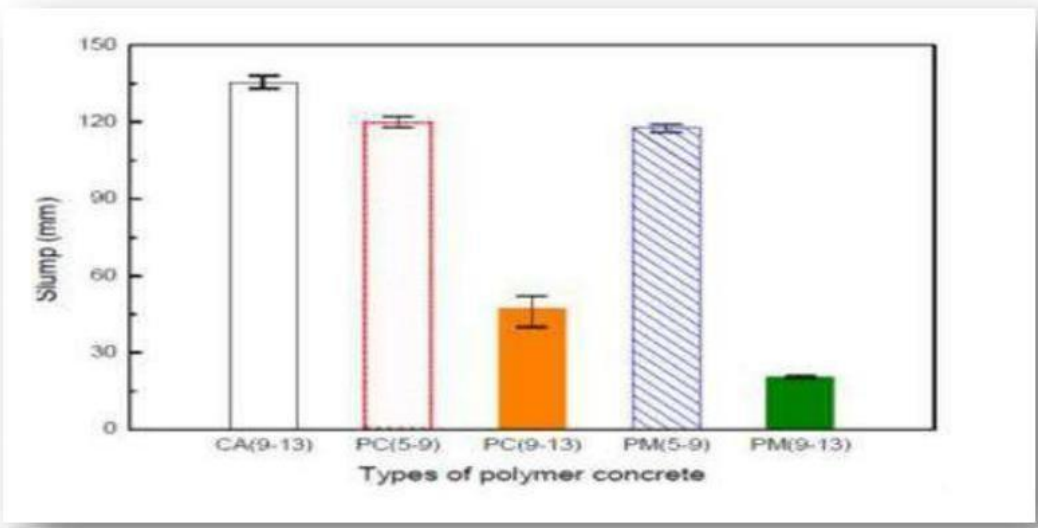


Figure 2.1: comparaison des affaissements des mortiers résineux (**Yeon ,10**).

2.4.2 Propriétés des mortiers résineux à l'état durci :

2.4.2.1 Résistance à la compression :

A. Effet de la résine polyester :

[**Abdelfattah et al.99**] ont formulé des mortiers résine avec (2 types d'époxydes).

Pour chaque type de Trois fractions massiques ont été adoptées (9,12 et 15) et les granulats sont constitués par du sable et des graviers de diamètre de 12,7 mm. Ils ont conclu que 12% est le pourcentage de liant qui conduit aux résistances mécaniques les plus élevées que le type de résine a une influence remarquable sur les propriétés mécanique du produit final qui présente un comportement fragile quand la charge maximale est atteinte avec une relation charge déformation linéaire.

[**Gorninski et Wan Jo.08**] ont utilisé des résine polyester dans le mortier avec pourcentage de 13% ils ont remarqué que Les résistances à la compression obtenues est de 101MPa pour Gorninski et de 78% par rapport un mortier hydraulique.

[**Kim et al. 85**] ont étude l'effet de la variation des quantités des composants d'un mortier résine sur les propriétés thermiques et mécaniques. L'augmentation du pourcentage de la résine entre 5 et 10 % permet une hausse des résistances en compression et en flexion.

[**Ribeiro et al. 04**] ont étudié des mortiers résine à base de résine polyester et époxyde. Ils concluent que les propriétés mécaniques à la flexion de mortier résine polyester sont plus sensibles à la quantité de résine ajoutée que le mortier résine époxyde. Une augmentation de 17% à 20% de la résine produit une hausse de la résistance en flexion de 56% et 10 pour le polyester et l'époxyde respectivement avec des résistances meilleures pour le mortier résine à base d'époxyde quel que soit la proportion de résine.

B. Effet de la résine époxy :

Les études ont trouvé le dosage optimal de la résine pour maximiser la résistance mécanique propriétés ont donné des résultats différents en fonction du type spécifique de résine et d'agrégat utilisés. On observe qu'initialement, la force augmente avec l'augmentation du dosage de résine, mais, après avoir atteint le sommet, le même diminue ou reste inchangé avec une nouvelle augmentation de la teneur en résine.

Les résines époxy offrent une meilleure résistance mécanique que le polyester, l'ester vinylique, le furanne et le méthacrylate résinent, mais leur coût inhérent est élevé. Les propriétés du mortier polyester peuvent également être améliorées au niveau du mortier époxy. par addition de micro-charges et agents de couplage au silane. Le dosage de la résine rapportée par divers auteurs se situe pour la plupart dans la gamme des 10 à 20% en poids de mortier polymère. Dosage plus élevé de résine est recommandé lors de l'utilisation

d'agrégats fins, en raison de la grande surface de ces matériaux. Plus des chercheurs ont rapporté la force maximale pour la résine dosage compris entre 12 et 16% en poids de mortier polymère.

[**Haider et al.11**] Le pourcentage du liant (Résine époxy +durcisseur) varie entre 5 et 13% en masse.

Les résultats des essais de compression sont présentés dans la figure.

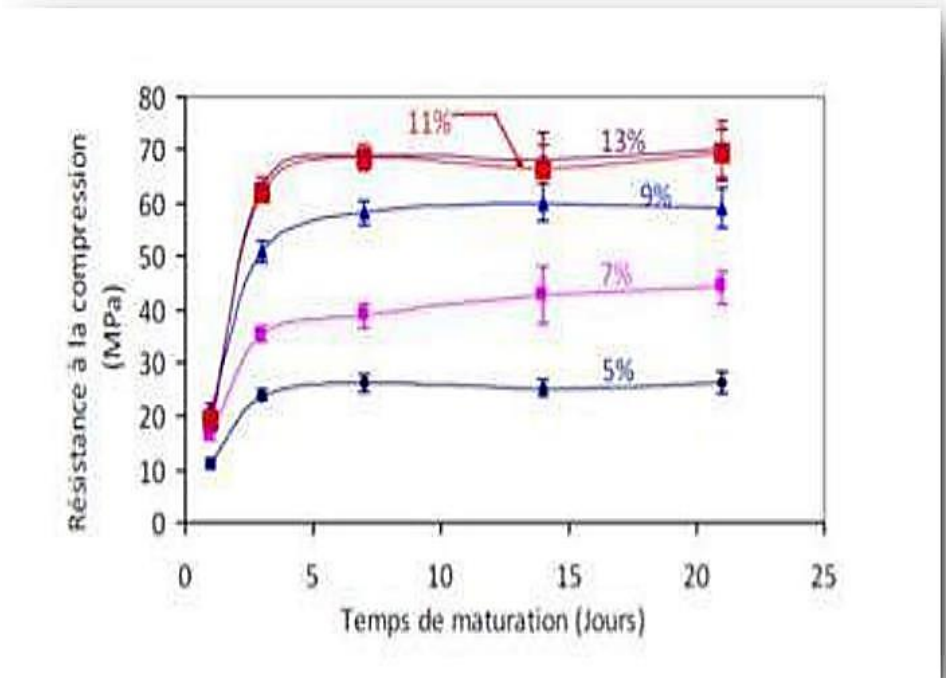


Figure 2.2 : effet du temps de maturation sur la résistance à la compression (**Haider ,16**).

C. Effet de la résine furanique :

[**Muthukumur et al.04**] ont Montrent qu'une fraction massique de 9,75% donne une résistance à la compression de 85MPA.

2.4.2.2 Résistance à la traction par flexion :

A- Effet de la résine époxy

[**Jung et al. Ont.14**] montré dans une étude avec 20% de résine époxy dans mortier à une résistance à la traction par flexion relativement élevée de 21,72 MPa.

[**Golestaneh et Amini.10**] ont formulés des mortiers résineux à base d'époxy .La résistance à la traction par flexion a 20% de résine et 200% de charge. Pour cet échantillon, la

résistance à la traction par flexion est respectivement 22,5 et 16,2MPa.

[**Elalaoui .12**] Ont étudié l'optimisation de formulation d'un mortier de résine époxy à 7 jours, la résistance maximale à traction par flexion obtenue pour un pourcentage de polymère égal à 13% est de 26 MPa.

B- Effet de la résine polyester

[**Maksimov et al .99**] ont Rapporte que les utilisations des résines polyester dans le mortier donne une résistance à la traction par flexion sa valeur est 20.8MPa qui contiens 9.8% de liant.

[**Robiez.95**] ont noté les propriétés mécaniques à la traction par flexion est de 20MPa pour un pourcentage de 10% du liant.

[**Wan Jo et al ils.08**] ont trouvé que la résistance à la traction par flexion pour 13% de résine est de 23MPa.

[**Mirouzi et al.17**] Ont optimisé la formulation de micro-mortiers de résine polyester. Dans cette optimisation, ils ont utilisé une méthode empirique se basant sur le principe du point de saturation des sables avec la résine. Les courbes charge-déformation ont été tracées pour les différents rapports de (G/S = 0,5 – 1 – 1,5 - 2).

La figure montre un exemple de courbe charge-déplacement obtenue en traction par flexion 3 points.

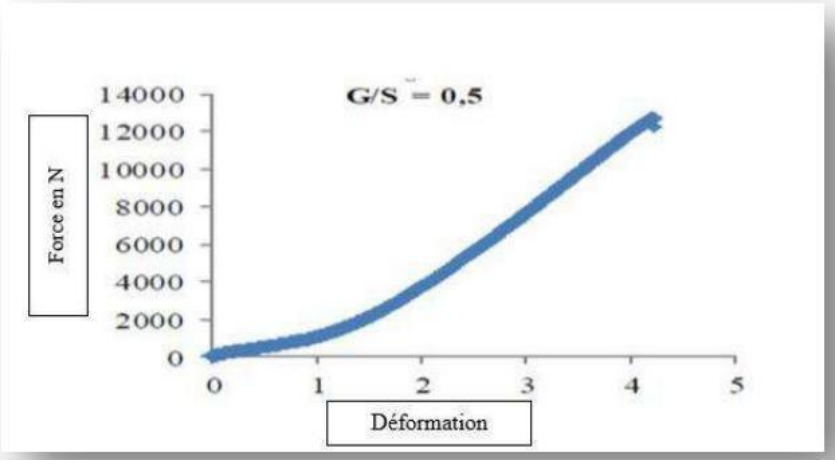


Figure 2.3: courbe charge-déplacement d'un micro-mortier de résine en traction par flexion trois point (**Mirouzi,17**).

2.4.3 Module d'élasticité :

2.4.3.1 Effet de résine polyester :

[C. Vipulanandran el al.89] ont trouvé que la quantité de résine entre 10 et 20%, les valeurs des propriétés mécaniques (résistances et module d'Young) augmentent en fonction de la quantité de résine introduite jusqu'à atteindre un maximum où elles commencent alors soit à décroitre, soit à se stabiliser.

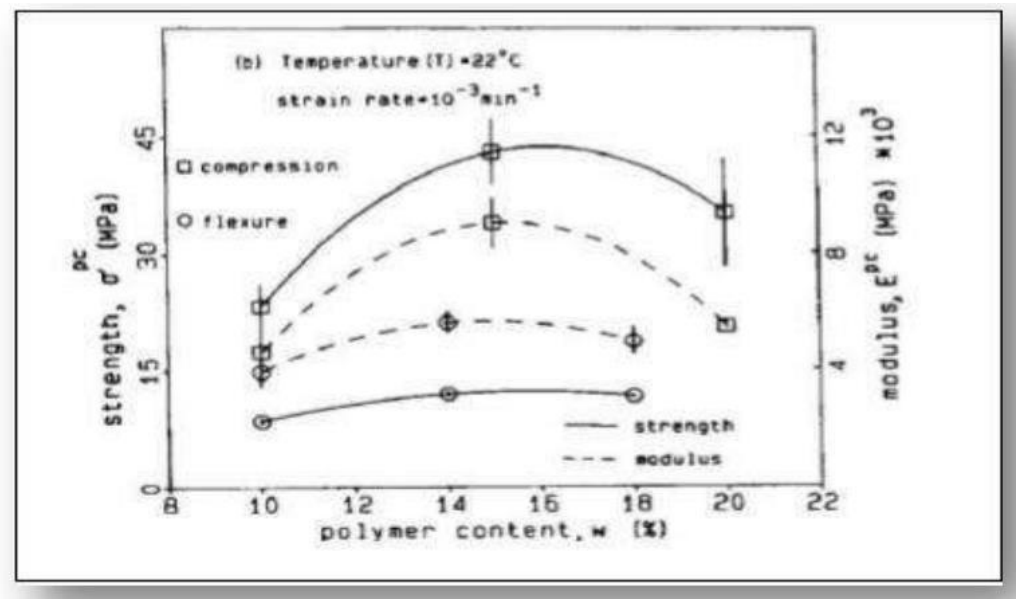


Figure 2.4: résistances en fonction de la quantité de polymère (Vipulanandran, 89).

[Gorninski et al.07] Ont évalué et comparé le mortier polymère avec le mortier de ciment Portland. En outre, des valeurs élevées de module d'élasticité ont été obtenues et la valeur maximale est de 29 MPa pour 12% du liant.

[Jo et al, 08] a remarqué que la résistance à la flexion est de 23MPA pour 13% de résine (21).

2.4.4 Durabilité des mortiers résine :

2.4.4.1 Effet de la résine époxy :

[Shi-Cong et al, 13] ont montré que l'addition des fillers au mortier polymère à base de résine Epoxyde améliore sa résistance aux agressions environnementales sévères. Cette durabilité a été testée par immersion pendant 28 jours dans l'eau du robinet, l'eau de mer, une solution d' NaOH à 10%, une solution de Na_2CO_3 à 20% et une solution de H_2SO_4 à 10%. Une diminution de la résistance à la flexion a été observée seulement pour les échantillons immergés dans la soude et l'acide sulfurique.

2.4.4.2 Effet de résine polyester

[Yamamoto, 87] a immergé un mortier Portland et un mortier polyester dans des solutions d'acide chlorhydrique et d'acide sulfurique à 10% pendant une durée de 28 jours. Aucune perte de masse n'a été observée pour le mortier de résine, cependant une baisse de 50% de la masse du mortier de ciment est détectée.

[Mebarkia et al.95] sur l'effet de l'exposition d'un mortier de polyester à différentes solutions de PH variables, montre une diminution de 20% de la résistance à la compression après immersion dans l'eau pendant un mois Les résultats présentés dans **la Figure 2.5** .

2.4.4.3 Les avantages de la résine dans la construction :

- **Durabilité**: Une des principales raisons pour lesquelles la résine est utilisée dans la construction est sa durabilité. Elle résiste à l'usure, aux chocs et à l'abrasion, garantissant ainsi une longue durée de vie aux surfaces.
- **Flexibilité**: La résine peut être mélangée à d'autres matériaux pour obtenir différentes textures et finitions, ce qui la rend idéale pour divers projets de construction.
- **Étanchéité**: La capacité d'étanchéité de la résine en fait un choix parfait pour les zones nécessitant une imperméabilisation, comme les terrasses ou les piscines.
- **Facilité d'entretien**: Les surfaces en résine sont faciles à nettoyer et nécessitent un entretien minimal, ce qui les rend idéales pour les espaces à fort trafic.
- **Esthétique**: Avec une gamme de couleurs et de finitions disponibles, la résine offre une esthétique attrayante, ajoutant une touche moderne à n'importe quel espace.

Cependant, ils présentent également quelques inconvénients à prendre en compte, tels que leur coût élevé, la difficulté de réparation, la sensibilité à l'humidité et certaines considérations d'épaisseur et de compatibilité des matériaux**.**

2.5 Comparaison des types de résine pour béton

Voici un tableau comparatif des trois types de résine les plus couramment utilisés pour la réparation des fissures de béton :

Propriété	Résine époxy	Résine polyuréthane	Résine acrylique
Résistance à la compression (MPa)	70 – 100	50 – 70	20 - 40
Flexibilité	Faible	Moyenne à élevée	Elevée
Adhérence au béton	Excellente	Bonne	Bonne
Temps de séchage (heures)	2 - 4	6 – 8	12 - 24
Prix (euro/Kg)	20 - 35	15 - 25	10 - 15
Résistance à l'humidité	Excellente	Très bonne	Bonne

La résine époxy est idéale pour les fissures profondes et porteuses, nécessitant une résistance mécanique élevée. La résine polyuréthane est un bon compromis entre résistance et flexibilité, convenant à un large éventail de fissures. La résine acrylique, moins chère, convient aux fissures superficielles et aux réparations esthétiques.

2.6 Domaine d'application de la résine :

Il existe trois principaux domaines d'application bien connus ou les bétons de résine se sont Révélés concurrentiels sur les matériaux conventionnels : revêtement des sols et chaussées ; la Préfabrication ; la réparation et la réhabilitation des structures en béton. Récemment, un grand Intérêt est donné pour la fabrication des bétons de résine écologiques en utilisant des produits Recyclés [**RIB 06**]. Les applications les plus courants et bien connues du béton résineux sont Données ci-dessous :

2.6.1 la préfabrication :La préfabrication est l'une des applications la plus dynamique des polymères dans le béton, En raison de son rapide durcissement, sa haute résistance et sa capacité de produire des formes complexes. On peut citer :

A. Marbre artificiel :

Le marbre artificiel (ou marbre reconstitué) utilisé pour la fabrication des comptoirs Toilettes et autres revêtements sanitaires, panneaux de cloisonnement, escaliers et plans de Travail pour cuisines [**BLA 85**]. Ces produits sont moins chers que ceux réalisés avec le Marbre naturel, ont l'avantage supplémentaire de résister à la corrosion et aux produits Chimiques.

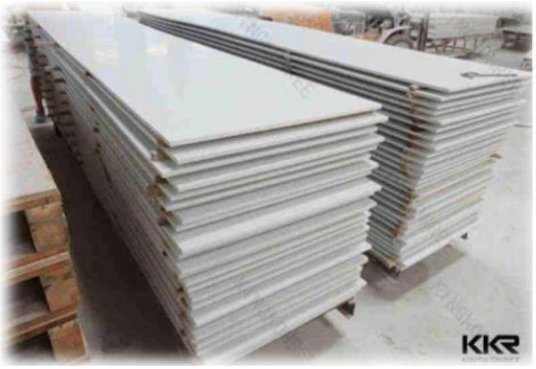


Figure 2.6: feuilles de marbre en BP.

Figure 2.7 : sol résine extérieur.

B. Panneaux de façade et tuiles :

Les panneaux de façade, les rebords de fenêtres et les tuiles sont une autre application bien Connue des matériaux du BP. Leur faible absorption d'eau, l'excellente durabilité, la Résistance aux chocs et à l'abrasion, les rendent très appropriés pour ce type d'application. En Outre, en raison de leur grande capacité de la texture et de la couleur, les apparences Extérieures de pierre, granit, schiste ou de bois sont facilement obtenues dans ces produits [WAH 05], alliant exigences esthétiques à un matériau résistant, léger et durable, avec L'avantage d'économiser les ressources naturelles.

C. Systèmes De Drainage Et De Canalisation :

Le BP trouve aussi son application dans les systèmes de drainage, qui comprennent les Gouttières, les canalisations d'égout, regards, chambres d'appareillage et des canaux de Drainage, sont généralement trouvés à l'extérieur et à l'intérieur, dans les infrastructures de Transport (voies d'accès, les routes et les aéroports), les installations sportives (par exemple : Les stades de football, les autoroutes, les piscines et des pistes de coures), les installations Industrielles et chimiques, les garages de stationnement, stations-service et les quais.

Figure 2.8: canal de drainage en BP.

Figure 2.9: bassin de rétention ville De Troyes.

D. Les Réservoirs Des Contaminants Et Déchets Dangereux :

Vu la nature hermétique et la facilité de nettoyage des surfaces en béton résineux qui Entrave l'apparition et la prolifération de champignons et autres micro-organismes, le BP se Révèle être le choix idéal pour la fabrication de réservoirs d'acide des contaminants et des Déchets dangereux. Le BP a également été appliqué pour les réservoirs de conditionnement D'entrepôt dans l'industrie de la transformation alimentaire.

E. Substitution du métal et la porcelaine par le BP :

Le remplacement du métal est un autre secteur de l'application croissante du BP. La grande Résistance par rapport au poids, la faible conductivité thermique, l'amortissement élevé et la Malléabilité font du BP un concurrent sérieux pour de nombreuses applications actuelles Utilisant des métaux, telles que les bases d'outils de machines, comme les tours, les fraiseuses, Les perceuses ou le BP a été trouvé très compétitif avec la fonte et l'acier (**fig.2.10**).

Figure 2.10 : bâti d'une machine de tournage en béton polymère [**EMA-07**].

2.6.2 Revêtement Des Planchers Et Chaussées :

Les BP ont été largement utilisés pour les tabliers de pont, revêtement des chaussées et des Planchers ou une forte corrosion et/ou résistance à l'abrasion est nécessaire, tels que, les Garages de stationnement, les usines chimiques, l'industrie de la transformation alimentaire et D'autre industries ou les conditions de l'usure corrosive sont rencontrées (**fig. 2.11**), les Revêtements du BP peuvent fournir une surface durable et résistante à l'usure pour le béton de ciment portland avec une faible perméabilité à l'eau et aux ions chlorures, et donc contribuent. Également à prévenir la détérioration et l'effritement du béton en raison des cycles gel-dégel Et à la corrosion de l'acier d'armature (**fig. 2.12**).

Figure 2.11: revêtement de plancher mortier époxy coloré auto Industriel.

Figure 2.12 : Lissant pour sols.

2.6.3 Réparation et Réhabilitation Des Structures :

Actuellement, le BP est aussi utilisé pour la réhabilitation et la réparation des structures en Béton. Le durcissement rapide, l'excellente adhérence au béton et aux armatures en acier, et la Bonne résistance et durabilité en font un matériau de réhabilitation très attractif [CZA699]. La Réparation peut se faire soit en surface, ou en profondeur partielle ou totale. Le fait que les BP ont une reprise rapide ce qui les rend d'un grand intérêt dans les réparations d'installations Existantes ou le temps d'arrêt de fonctionnement doit être maintenue minimum, comme les Tabliers de ponts, les routes, les autoroutes et les pistes d'aéroport [FOW699].

Figure 2.13 : mortier de réparation à base de résine époxy.

Figure 2.14 : la résine époxy pour améliorer l'étanchéité en construction.

2.6.4 Recyclage Des Déchets :

Les bétons de résine sont très attractifs d'un point de vue écologique en raison de leur Capacité d'utiliser les produits de déchets recyclés. Cette caractéristique de composites Polymères a été développée principalement par deux approches différentes. Tout d'abord, par L'utilisation de résines de polyesters insaturés à partir de poly recyclé poly (éthylène Téréphtalate), généralement connue sous le PET, et d'autre part, par l'incorporation de sous-produits industriels et des déchets tels que des charges ou des agrégats **(08)**.

Le tableau suivant montre les déférents domaines d'application des mortiers des Résine :

Tableau 2.2 : Domaine d'application des mortiers de résine (**Elhabib et Tounsi, 18**).

Domaine d'application	Exemple
Domaine bâtiments	- Production du mortier résinée artificiel (à matrice polymérique) - Industrie de façades - Panneaux - Appuis de fenêtres - Marches d'escalier - Table de travail - Haut de table - Equipements techniques sanitaires
Travaux de drainage et hydrauliques	- Systèmes de drainage - Le réseau de canalisation (cunette)
L'agriculture et l'horticulture	- Les réservoirs d'aliments pour les bétails - En horticulture, les bacs des plants
Revêtement des chaussés et planchers	- Protection des surfaces des chaussées - La réparation du pont - Matériaux décoratifs en leur ajoutant des charges colorées
L'industrie	- L'introduction des éléments porteurs en mortier de résine renforcés supportant les bains isolateurs, grâce à la qualité antivirus mortier résine meilleure - Le mortier résine des bases pour tours, des rectifieuses, des fraiseuses et des perceuses
Isolant phonique	- Systèmes d'isolation phonique - Ecrans phoniques en autoroute
L'enfouissement des déchets toxiques et radioactifs	- Gestion de déchets dangereux - Le risque résiduel des déchets non traités (ovoïde)

L'état de l'art sur l'utilisation des fibres végétales dans les matériaux de construction :

L'état de l'art sur l'utilisation des fibres végétales dans les matériaux de construction met en évidence leur potentiel pour améliorer les performances mécaniques des matériaux, leur résistance à l'humidité, et leur capacité à fournir des solutions isolantes. Cependant,

leur intégration dans des produits de construction à grande échelle présente également des défis techniques et scientifiques, notamment en termes de durabilité, de stabilité dimensionnelle et de traitement des fibres. On va présenter une revue des recherches actuelles et des innovations récentes concernant l'utilisation des fibres végétales dans la construction.

A. La paille en construction :

Depuis 15 ans, la construction en paille s'est fortement développée, notamment dans l'ouest de la France. Considérée comme solution d'avenir, la paille peut être employée en neuf comme en rénovation. En plus d'apporter une isolation thermique très performante, elle stocke d'importantes quantités de CO2 et permet de valoriser les co-produits agricoles.

Il y a plusieurs manières d'utiliser la paille en construction :

- Remplissage d'ossature porteuse contreventée, le système constructif le plus répandu.
- Remplissage de caissons porteurs.
- Remplissage d'ossature secondaire non porteuse.
- Bottes porteuses.
- La technique du GREB.

Un projet d'architecture en paille : Strohbauernhof Gliott

Figure. 2.15 Strohbauernhof Gliott. Suisse Architecte et Photo : Atelier Werner Schmidt.

B. Les constructions en béton de chanvre :

Depuis quelques années, ce matériau développé dans les années 1990 en France redevient populaire, boosté par le développement annoncé de la filière chanvre et la baisse des coûts de production .L'entreprise Wall'Up Préfa, spécialisée dans la construction de

panneaux préfabriqués en béton de chanvre et en ossature bois, en est un bon exemple. Après une première usine construite en 2021, l'entreprise vient de lever 2,5 millions d'euros pour poursuivre son développement et fluidifier sa production automatisée. De multiples projets en béton de chanvre ont récemment vu le jour :

- Un immeuble R+8, le plus haut bâtiment d'Europe en béton de chanvre - Boulogne- Billancourt, 2020.
- Un immeuble collectif R+3, la première résidence sociale française en béton de chanvre – Seine-et-Marne, 2021.
- Restauration du château d'Ansembourg - Grand-Duché de Luxembourg, 2019.

Figure 2.16: Wall'Up Préfa, leader du béton de chanvre en préfabriqué depuis 2019, a réalisé cette levée de fond dans le cadre de France 2030, Schneider Electric Energie Access et Altur Investissement.

Les mélanges terre et fibre végétale :

La bauge est un mélange de terre et de fibres végétales d'origine agricole. Cette technique de construction traditionnelle, utilisée dans le monde entier, est en train d'être modernisée et adaptée aux techniques de construction actuelles.

Le projet franco-britannique CobBauge* vient ainsi de s'achever après 5 ans d'expérimentations. Les techniciens et ingénieurs participant au projet ont commencé par rechercher le mélange terre-fibre le plus prometteur. Ils ont ensuite mis au point un procédé de construction mixte associant une terre allégée pour la partie isolante et une terre dense pour la partie structurelle.

Deux bâtiments démonstrateurs utilisant le couple "terre et fibre de roseau" (partie isolante) et "terre et chènevotte de lin" (partie structurelle) ont été construits et instrumentés dans le but de valider les résultats de laboratoire.

***Note** : CobBauge est un programme Interreg VA France (Manche) / Angleterre, mené de 2018 à 2023 avec un cofinancement des Fonds Européens de Développement Régional (FEDER) à hauteur de 2,8 millions d'euros.

Des briques en mousse végétale et fibre de lin :

Certaines fibres végétales sont particulièrement résistantes. C'est par exemple le cas de la fibre de lin, un matériau qui a longtemps été employé dans la confection des cordages de bateaux.

Cette résistance de la fibre de lin a été mise à l'épreuve dans le cadre du projet européen Smart Circular Bridge. L'objectif du projet dirigé par l'université de technologie d'Eindhoven : construire un véritable pont piétonnier 100% végétal, rivalisant avec l'acier et le béton. Un premier démonstrateur a déjà été inauguré à Almere, aux Pays-Bas et 2 autres constructions devraient prochainement voir le jour en Allemagne et aux Pays-Bas.

Du point de vue technique, ces ponts sont construits à partir de blocs de mousse végétale composés de biorésine et de fibre de lin. Ces sortes de briques végétales sont ainsi assemblées et à nouveau recouvertes de plusieurs couches de fibre de lin. L'ensemble est ensuite trempé une nouvelle fois dans la résine, formant un assemblage très résistant.

Ces ponts sont par ailleurs remplis de capteurs, le but étant d'étudier l'évolution des matériaux en conditions réelles et de tester leur résistance à la traction, la compression, l'humidité et le rayonnement UV.

À retenir :Paille, chanvre, lin, ouate de cellulose sont autant de fibres végétales de plus en plus populaires en construction.

2-2 Mosaïque des fibres végétales utilisées dans la construction :

Figure 2.17 Mosaïque des fibres végétales utilisées dans la construction (Photo : tableau en annexe).

Les fibres végétales répondent à plusieurs fonctions de la construction :

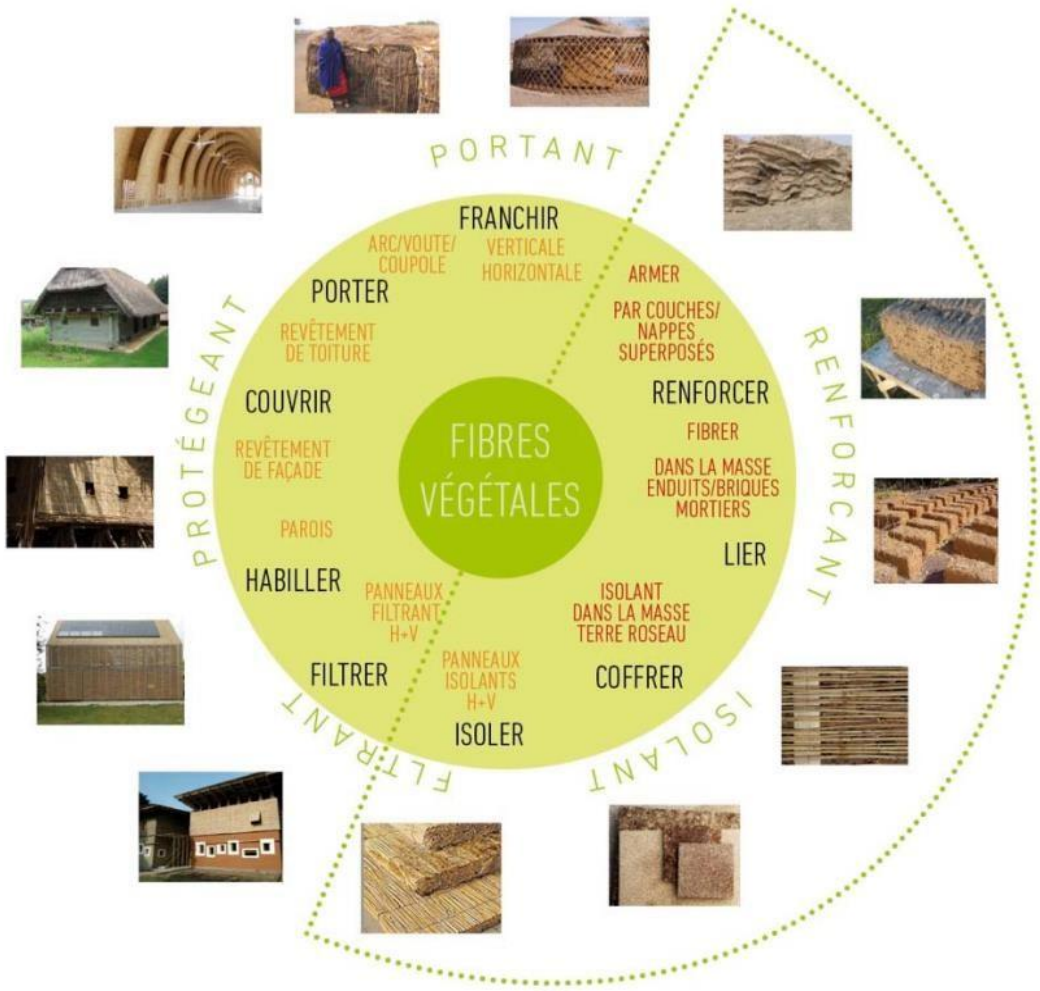


Figure 2.18 Roue des fonctions appliquées à la construction.

Conclusion :

Ce chapitre a permis de mettre en lumière les progrès réalisés dans le domaine des matériaux de réparation, en particulier l'utilisation des **résines de réparation** et des **fibres végétales** comme renforts dans les matériaux composites. L'étude des propriétés des résines, associées aux fibres naturelles telles que l'alfa, révèle leur potentiel exceptionnel pour répondre aux besoins croissants en matière de **durabilité** et de **durabilité environnementale** dans le secteur de la construction **(09)**.

L'utilisation des fibres végétales comme l'alfa, grâce à leur **abondance**, leur **faible coût** et leur **caractère renouvelable**, représente une solution innovante et écologique pour renforcer les matériaux de construction **(10)**. Ces fibres offrent des propriétés mécaniques et thermiques intéressantes, tout en réduisant l'impact écologique comparé aux matériaux traditionnels à base de fibres synthétiques **(11)**. Cependant, des défis demeurent concernant

leur traitement, leur comportement à long terme et leur compatibilité avec les résines utilisées **(12)**.

En conclusion, bien que des avancées significatives aient été réalisées dans la compréhension de ces matériaux composites, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour améliorer leur performance à grande échelle et leur intégration dans des applications industrielles de construction durables et efficaces **(13)**. L'avenir des matériaux composites à base de fibres végétales semble prometteur, en particulier dans un contexte où l'accent est mis sur la **durabilité**, l'**économie circulaire** et l'**innovation technologique** **(14)**.

LES REFERENCES :

[1] Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2013). Materials Science and Engineering: An Introduction (9th ed.). Wiley .

[2] Bourbigot, S. (2015). Matériaux composites et polymères pour l'ingénierie. Dunod.

[3] Eberhard Tuescher, Matthias F. Melzig et Ulrike Lindequist, Biogene Arzneimittel. Ein Lehrbuch der Pharmazeutischen Biologie., Stuttgart, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 2012 (ISBN 978- 3-8047-2495-2).

[4] Karl Hiller et Matthias F. Melzig, Lexikon der Arzneipflanzen und Drogen, Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag, 2010 (ISBN 978-3-8274-2053-4).

[5] « resin [archive] », IUPAC, Compendium of Chemical Terminology [« Gold Book »], Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1997, version corrigée en ligne : (2019-), 2e éd. (ISBN 0- 9678550-9-8).

[6] Gerd Collin, Rolf Mildenberg et Mechthild Zander, « Resins, Synthetic », Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Weinheim, Wiley-VCH, .p ,2005 1–2 (DOI 10.1002/14356007.a23_089).

[7] Rasem Fatima Chennouf Asma Etude expérimentale de l'effet de la température sur les comportements mécaniques d'un mortier de polymère : université de Médéa DR.YEHYA FARES
,2019pp17.

[8] Naziha Benzannache Chennouf carecterisation mecanique des betons polymers à base de resine renforces par les granulats doctorat de l'université du 08 mai 1945 GUELMA 2017 .

[9] Dupont, J. (2020). Les matériaux composites dans la construction écologique. Éditions Techniques, Paris.

[10] Smith, R., et al. (2019). Fibres naturelles et résines dans les matériaux de construction. Journal of Composite Materials, 45(7), 123-135.

[11] Chavez, F. (2021). L'utilisation des fibres végétales pour la construction durable. Revue des matériaux, 19(3), 56-70.

[12] Morin, L. (2018). Les propriétés mécaniques des composites renforcés par fibres naturelles. Construction Today, 34(5), 98-110.

[13] Leclerc, M. (2022). Défis et solutions dans l'utilisation des fibres végétales dans la construction. International Journal of Building Materials,

28(2), 215-230.

[14] Bouvier, P., et al. (2020). L'avenir des composites à base de fibres végétales dans la construction durable. Materials Research Journal, 53(8), 420-435.

Chapitre 3 :

Caractérisation des matériaux de base et méthodologie d'essai (mortier).

Introduction 45
3-1 Définition d'un matériau composite 45
3-2-1 Définition d'un mortier 46
3-2-2- Les compositions du mortier 46
3-3- Matériaux utilisés 47
3-3-1- Le ciment 47
3-3-2- Le sable 48
3-3-3- L'eau 48
3-3-4- La résine 48
3-3-5- la fibre végétale Alfa 49
3-3-5-1- Préparation des fibres d'Alfa 49
3-3-5-2- Traitement alcalin des fibres d'Alfa 51
3-4-1- Caractérisation du ciment Matine 53
3-4-2- Caractérisations de sable Boussaâda(21) 54
3-4-3- Caractérisations de l'eau (22) 55
3-4-4- Caractérisation de la résine choisie : SikaLatex® (résine synthétique) … 56
Méthodologie d'essai 56
3-5-1- Préparation des moules 58
3-5-2- Préparation du mortier 58
3-5-3- Préparation de la résine et la fibre d'Alfa 59
3-5-4- la préparation d'éprouvettes de dimensions 4×4×16 cm… 60
3-5-5- Essai de compression sur mortier (9 éprouvettes) 61
3-5-6- Essai de flexion sur mortier (9 éprouvettes) 62
3-6- Conclusion 63
Références ﻯ 64

Introduction :

La caractérisation des matériaux est une étape fondamentale dans l'étude des performances des matériaux de construction, notamment le mortier, qui est un élément essentiel dans les processus de maçonnerie et de rénovation (1). Le mortier, en tant que liant, joue un rôle clé dans la durabilité, la résistance et la stabilité des structures (2). Ce chapitre est dédié à l'analyse approfondie des matériaux de base utilisés pour la fabrication des mortiers, ainsi qu'aux méthodologies d'essai mises en œuvre pour évaluer leurs propriétés physiques et mécaniques (3).

L'objectif de cette section est de présenter les différentes étapes de caractérisation des matériaux de base du mortier, notamment les sables, les ciments et les adjuvants, et d'expliquer les essais normalisés utilisés pour évaluer des critères tels que la résistance à la compression, la flexion, l'adhérence, et la durabilité dans des conditions variées (4). Ces essais, essentiels pour garantir la qualité et la fiabilité des mortiers, sont réalisés selon des normes internationales et permettent de s'assurer que les matériaux utilisés répondent aux exigences techniques et aux spécifications des projets de construction (5).

Cette approche méthodologique nous permettra de mieux comprendre l'impact de chaque composant sur la performance globale du mortier et d'identifier les critères essentiels pour la sélection et l'utilisation optimale de ces matériaux dans des contextes spécifiques (6).

3.1 Définition d'un matériau composite:

Un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux matériaux de natures différentes, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont les performances sont supérieures à celles des composants pris séparément. Un matériau composite est constitué dans le cas le plus général d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. La phase discontinue, appelée renfort ou matériau renforçant, est habituellement plus dure avec des propriétés mécaniques supérieures à celles de la phase continue, appelée matrice (7).

Un matériau composite le plus utiliser dans le domaine de construction est le mortier .

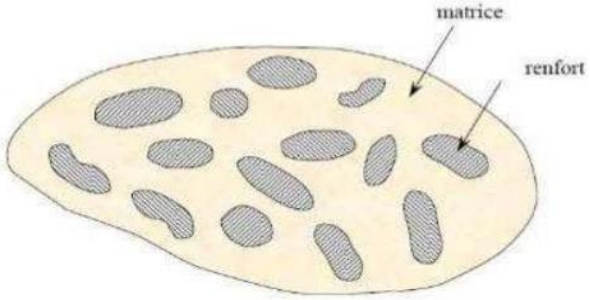


Figure 3.1: Représentation schématique d'un matériau composite (8).

3.2.1 Définition d'un mortier :

Le mortier est un mélange d'un liant, du sable, de l'eau et éventuellement un adjuvant pour obtenir un « mortier », qui se distingue du béton par l'absence de gravillons **(9)**.

Le mortier sert à assurer la liaison d'éléments de maçonnerie (jointements) et de protéger les revêtements (enduit) ou d'effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc **(10)**.

Différentes compositions de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres: liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau **(11)**.

Les mortiers bâtards sont constitués par des mélanges de ciment et de chaux avec du sable,dans des proportions variables. Les chaux apportent leur plasticité, les ciments apportent la résistance mécanique et un durcissement plus rapide **(12)**.

3.2.2 Les Compositions Des Mortiers :

La composition des mortiers varie en fonction de l'utilisation souhaitée. La différenciation des mortiers se fait en jouant sur les éléments entrant dans sa composition, à savoir :

- liant (ciment ou chaux) **(13)**
- adjuvants
- ajouts (sable)
- eau

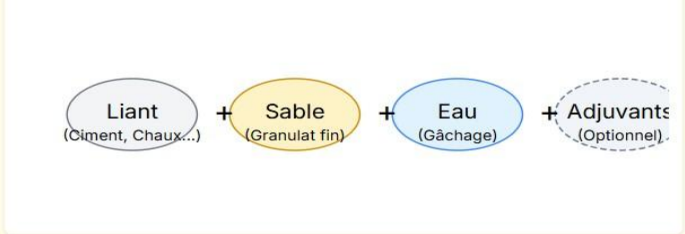


Figure 3-2 : Principaux constituants d'un mortier.

Figure 3-3 : présente le mortier.

3.3 Matériaux utilisés :

3.3.1 Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire que mélangé à l'eau il forme une pâte fait prise et durcit (propriétés hydrauliques) **(14)**. Il est utilisé sous forme de poudre pour confectionner du béton ou du mortier.

Les ciments courants sont élaborés à partir d'un mélange d'environ 80% de calcaire et 20% d'argile, mélange qui est progressivement chauffé à une température voisine de 1450°C, puis brusquement refroidi. Au cours de ces opérations, s'enchaînent plusieurs réactions chimiques. Il en résulte le clinker qui, mélangé avec du gypse et éventuellement avec d'autres produits, puis finement broyé, donne le ciment **(15)**.

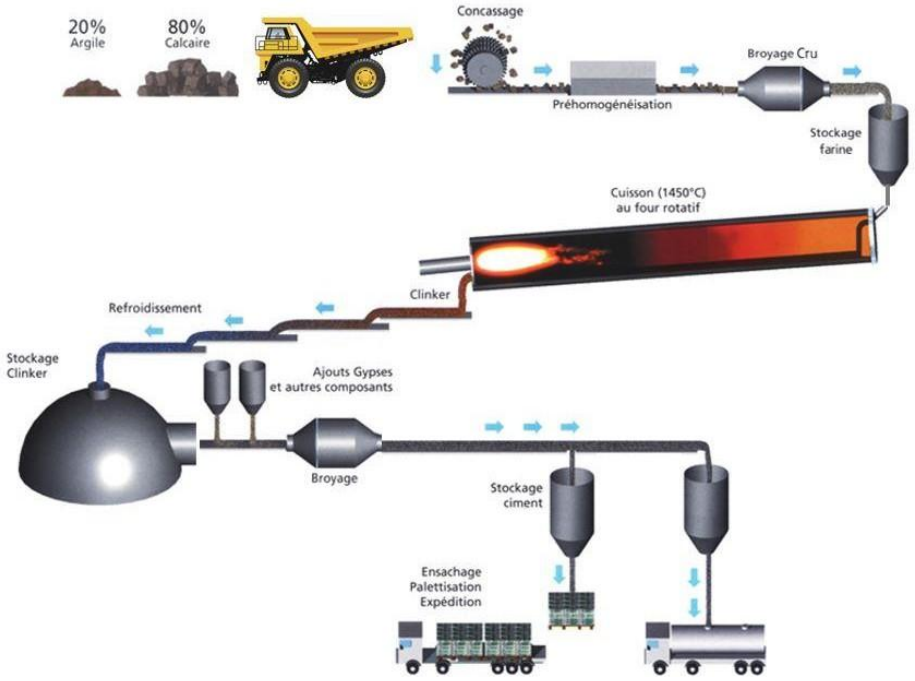


Figure 3-4 : Les différentes étapes de la fabrication du ciment .

Les grandes étapes de la fabrication du ciment.

Figure 3-5 : la composition du ciment.

3.3.2 LE SABLE :

Le sable se compose de particules minérales dont les tailles sont, pour les sables grossiers : 2 mm à 0,2 mm (Système International) et entre 2 et 0,05 mm dans le système USDA, et pour les sables fins : 200 µm à 63 µm. Le sable est le produit final de beaucoup de choses, y compris des roches décomposées et des sous-produits organiques.

Les sables diffèrent selon leur origine, tant géologique que géographique ou en fonction de leurs caractéristiques physiques :

En fonction de leur diamètre, de leur ère géologique, de l'aire géographique **(16)**.

3-3-3- L'EAU :

L'eau potable constitue la meilleure eau de gâchage, car elle contient moins d'ions agressifs. En l'introduisant dans le béton elle remplit deux fonctions :

- une fonction physique qui confère au béton les propriétés rhéologiques d'un fluide.
- une fonction chimique qui contribue au développement de la réaction d'hydratation.

Le béton idéal serait un béton ou la quantité d'eau est strictement nécessaire au développement du potentiel hydraulique du ciment.

La réduction du dosage en eau, permet de fabriquer les bétons à faible porosité, ayant des résistances élevées.

- pour les BHP le rapport E /C doit être inférieur à 0.4 **(17)**.

3-3-4- RESINE :

La résine synthétique est une substance chimique largement utilisée dans la fabrication des matériaux composites. Ce type de résine se présente sous la forme d'un liquide laiteux concentré, ce qui facilite son utilisation pour l'imprégnation des fibres et le renforcement de la structure des composites **(18)**. Elle se caractérise par une mise en œuvre facile et un durcissement rapide, surtout lorsqu'un catalyseur approprié est ajouté. Le processus de durcissement passe par plusieurs étapes : de l'état liquide à l'état gélifié, puis à l'état solide infusible. Ces résines présentent également de bonnes propriétés mécaniques et isolantes, et sont couramment utilisées dans divers domaines industriels, notamment dans les secteurs navals et du bâtiment **(19)**.

Pour notre application, nous avons employé une résine synthétique sous forme de liquide laiteux concentré en raison de ses excellentes propriétés pour améliorer l'adhérence du mortier, renforcer sa cohésion interne et lui offrir une meilleure résistance face à l'eau, aux fissures et aux agents chimiques. De plus, cette résine contribue à accroître la durabilité et la flexibilité du mortier, ce qui s'avère particulièrement avantageux dans des environnements exigeants.

3-3-1 la fibre végétale Alfa :

3-3-1-1 Préparation des fibres d'Alfa

La récolte de la plante Alfa a été effectuée en janvier 2025. La plante se présente sous la forme d'une touffe constituée de feuilles plates et cylindriques, atteignant une hauteur maximale d'environ 70 cm (**Figure 24**). L'enlèvement des feuilles se fait exclusivement à la main par arrachage. Les feuilles d'Alfa utilisées dans cette thèse ont été récoltées dans la région de Hodna, située à M'sila en Algérie.

Figure 3 .6: fibre d'Alfa utiliser dans ce travail .

Après la récolte, les feuilles d'Alfa sont sélectionnées pour ne garder que les feuilles vertes intactes (vivantes) et sans cassure (endommagement). Elles sont généralement couvertes d'impuretés comme la poussière et la terre, surtout sur leurs parties inférieures. Ensuite, les deux extrémités des feuilles restantes sont découpées pour ne garder que la partie médiane (**Figure 3-7** (a)). Les fibres seront extraites de cette partie médiane parce qu'elle présente une faible variation de diamètre. Les fibres ont été préalablement rincées à l'eau du robinet afin d'éliminer les impuretés et la poussière. Ensuite, elles ont été séchées naturellement à l'air libre pendant une période de 3 jours à température ambiante. (**Figure 3-7** (b)).

Figure 3-7 : Préparation de la fibre Alfa (a) Principales parties de la feuille d'Alfa, (b) les feuilles d'Alfa après nettoyage.

3-3-1-2- Traitement alcalin des fibres d'Alfa :

Les fibres d'alfa ont été immergées dans une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) et d'eau selon les proportions suivantes : Eau (600 g) ,NaOH (30 g) pendant deux heures à température ambiante. Ensuite, les fibres ont été soigneusement lavées à l'eau pour éliminer l'excès d'hydroxyde de sodium. Enfin, les échantillons ont été laissés à sécher à température ambiante pendant 24 heures, Après le séchage d'Alfa traité nous avons coupé les échantillons selon des normes Connues 2 cm.

Figure 3-8: préparation de la solution de NaOH

L'hydroxyde de sodium		
Formule chimique	NaOH	
Masse molaire	M = 40 g·mol−1	
Etat et couleur	solide de formes variables, blanc	

Figure 3-9 : Les Caractérisation Du Naoh

Figure 3-10: Les fibres d'Alfa été immergée dans une solution de NaOH

Figure 3-11 :sécher les échantillons à la température ambiante pendant 24 heures

Figure 3-12 : Découpage les fibres d'Alfa en longueur de 2 cm.

3-4- les caractérisations des matériaux de base :

3-4-1- Caractérisation du ciment Matine :

A- Désignation du ciment choisi (20) :

- Nom commercial :Matine
- Type : Ciment Portland au calcaire
- Référence : NA442 CEM II/B-L 42,5 N
- Couleur : Gris
- Normes : Conforme à la norme algérienne NA 442-2013 et à la norme européenne EN 197-1

B- Propriétés générales :

- Classe de résistance : 42,5 Mpa (résistance normale à 28 jours)
- Caractéristiques spécifiques :
  - Résistance initiale élevée permettant un décoffrage rapide
  - Excellente maniabilité et maintien de la rhéologie du béton
  - Classe vraie (homogénéité garantie)
  - Très bonne durabilité du béto

C- Avantages produit :

- Idéal pour les ouvrages nécessitant une mise en service rapide
- Garantit une performance mécanique élevée à court et long terme
- Durabilité améliorée des structures exposées à des environnements agressifs

D- Applications recommandées :

- Construction d'ouvrages d'art (ponts, tunnels, etc.)
- Infrastructures et superstructures de bâtiments
- Bétons à haute performance (BHP)
- Préfabrication légère

E- Formulation conseillée du béton (à base de ciment Matine) (Tableau 3.1)

Constituant Dosage recommandé (kg/m³)

Ciment (Matine) 350 à 400 kg/m³

Sable (0/5 mm) 750 à 850 kg/m³

Granulats (8/15 mm) 900 à 1050 kg/m³

Eau 160 à 180 kg/m³

Rapport E/C 0,40 à 0,45

Adjuvant plastifiant* 0,5 à 1,5 % du poids du ciment

* Adjuvant plastifiant ou superplastifiant : utilisé pour améliorer la maniabilité sans augmenter l'eau.

Constituant	Dosage recommandé (kg/m³)
Ciment (Matine)	**350 à 400 kg/m³**
Sable (0/5 mm)	**750 à 850 kg/m³**
Granulats (8/15 mm)	**900 à 1050 kg/m³**
Eau	**160 à 180 kg/m³**
Rapport E/C	**0,40 à 0,45**
Adjuvant plastifiant*	**0,5 à 1,5 % du poids du ciment**

F- Recommandations générales :

- Bien ajuster le dosage en eau pour respecter le rapport E/C visé (≤ 0,45 pour un béton performant).
- Utiliser un adjuvant adapté pour garantir une bonne ouvrabilité (consistance S3 à S4) tout en conservant la résistance.
- Mélange homogène et respect du temps de malaxage (minimum 2 à 3 min après ajout de tous les composants).

G-Caractéristiques techniques : Analyse chimique :(**Tableau 3.2**)

	Valeur
Perte au feu (%) (NA 5042)	**10.0± 2**
Teneur en sulfates (SO3) (%)	**2.5 ± 0.5**
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	**Max 5%**
Teneur en chlorures (NQ5042) (%)	**< 0.1**

Valeur

Perte au feu (%) (NA 5042) 10.0± 2

Teneur en sulfates (SO3) (%) 2.5 ± 0.5

Teneur en oxyde de magnésium MgO (%) Max 5%

Teneur en chlorures (NQ5042) (%) < 0.1

Tableau 3.3 Composition minéralogique du clinker (Bogue) :

	Valeur
C3S (%)	**60± 3**
C3A (%)	**8 ±2**

Valeur

C3S (%) 60± 3

C3A (%) 8 ±2

Propriétés physiques :(**Tableau 3.4)**

	Valeur
Consistance normale (%)	**26.5±2.0**
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm² /g) (NA231)	**3700-5200**
Retrait à 28 jours (µm / m)	**< 1000**
Expansion (mm)	**≤ 3.0**

Valeur

Consistance normale (%) 26.5±2.0

Finesse suivant la méthode de Blaine (cm² /g)

(NA231) 3700-5200

Retrait à 28 jours (µm / m) < 1000

Expansion (mm) ≤ 3.0

Temps de prise a20°(NA230) (**Tableau 3.5**)

	Valeur
Début de prise (min)	**150±30**
Fin de prise (min)	**230± 50**

Valeur

Début de prise (min) 150±30

Fin de prise (min) 230± 50

3-4-2- Caractérisations de sable Boussaâda (21) :

Le sable utilisé c'est le sable de BOUSAADA, les caractéristiques de ce sable utilisé selon la norme française AFNOR.

A-Caractérisation du sable de Boussaâda :

Le sable étudié dans ce travail est issu des gisements naturels de la région de Boussaâda, située au sud de la wilaya de M'Sila, en Algérie. Il provient de dépôts alluvionnaires et présents une composition majoritairement siliceuse, une granulométrie régulière ainsi qu'une teneur modérée en fines particules. Ce matériau répond aux normes françaises et européennes en vigueur pour une utilisation dans les bétons hydrauliques.

B- Propriétés physiques du sable de Boussaâda : (**Tableau 3.6**)

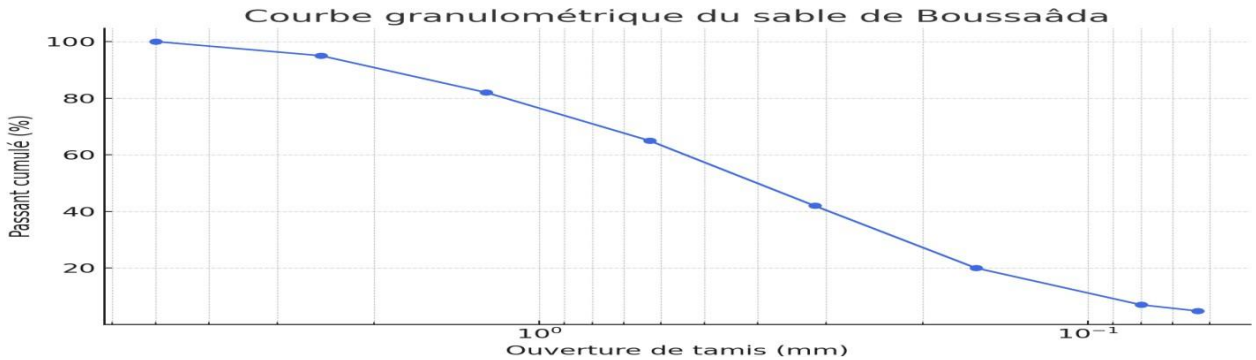
Les essais de caractérisation physique ont été conduits en laboratoire, conformément aux normes NF EN 933-1, NF EN 1097-6 et NF P18-560. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Propriété	Valeur mesurée
Masse volumique réelle (g/cm³)	**2,62**
Masse volumique apparente (g/cm³)	**1,55**
Module de finesse (MF)	**2,45**
Teneur en fines (%)	**4,8**
Absorption d'eau (%)	**1,3**
Classe granulométrique	**0/5 mm**

C- Analyse granulométrique :

Une analyse granulométrique a été réalisée par tamisage mécanique à sec, conformément à la norme NF P18-560. La courbe présentée ci-après illustre la répartition granulométrique du sable de Boussaâda.

Courbe granulométrique du sable de Boussaâda



3-4-3- Caractérisations de l'eau (22):

A- l'eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du laboratoire de département de génie civil.

B- Caractéristique chimique de l'eau utilisée (**Tableau 3.7**)

La composition chimique d'eau du laboratoire de département de génie mécanique est établie en 28/05/2025, à laboratoire de département de génie civil (BBA). Elle est donnée par le (**Tableau 3.7**).

La mesure	Teneur en mg/l)
Le temps de prise d'échantillon	**10/10/05 (9.25)**
Degré de température	**24.7**
PH	**7.78**
Conductibilité	**1799**
Chlore cl -	**234.3**
Sulfate $So4^{-}$	**351.60**
Magnésium M_{g+2}	**110.8**
Sodium Na+	/
Calcium Ca^{+2}	**267.2**
Sédiment sec	**1412**
rééligibilité d'oxydation en eau	**1024**

3-4-4- Caractérisation de la résine choisie : SikaLatex® (résine synthétique)(23)

A. Informations générales sur le produit (fiche technique)

La résine utilisée dans cette étude est le SikaLatex®, une dispersion aqueuse de résine synthétique qui se présente sous la forme d'un liquide laiteux concentré. Ce produit est parfaitement miscible à l'eau et s'ajoute directement au liquide de gâchage des mortiers à base de ciment.

B. Domaines d'application

SikaLatex® est un adjuvant polyvalent, largement utilisé dans divers types de travaux, notamment :

- Enduits et chapes : améliore l'adhérence et les performances mécaniques.
- Barbotines d'accrochage pour enduits et chapes à base de ciment.
- Enduits imperméables pour bassins, réservoirs et piscines (eau douce ou eau de mer).
- Chapes à haute résistance à l'usure, même en milieux humides (seuils sous vannes, radiers, etc.).
- Jointoiement durable et étanche des éléments de maçonnerie et d'éléments préfabriqués.
- Travaux de réparation et de ragréage : réparation des épaufrures et des défauts de surface du béton armé ou précontraint.
    - Finitions de couverture : embarrures, crêtes, tuiles faîtières, raccords de solins.

- Plâtres durcis et étanches : amélioration des performances par collage barbotine (DTU 25.1).
- Reprises de bétonnage : améliore l'adhérence entre les différentes couches de béton.

C. Caractéristiques et avantages

Le SikaLatex® offre de nombreux avantages techniques, parmi lesquels :

- Amélioration significative de l'adhérence du mortier à divers supports (béton, brique, métal, verre, céramique, etc.).
- Plasticité accrue du mortier, facilitant la mise en œuvre.
- Hausse des résistances mécaniques, notamment à la traction.
- Réduction du risque de fissuration.
- Amélioration de l'étanchéité du mortier.
- Augmentation de la dureté de surface.
- Réduction de l'usure et du dégagement de poussière.
- Stabilité du produit même en conditions humides ou immergées.
- Compatibilité avec tous les types de ciment, chaux et plâtre.

D. Normes et agréments

Le produit est conforme aux normes en vigueur et bénéficie de l'agrément technique CNERIB DTEM : PV 157/2016.

E- DESCRIPTION DU PRODUIT : SikaLatex® (Tableau 3. 8)

Conditionnement	Bidons de 2 kg, 5 kg, 10 kg
Durée de conservation	**Dans son emballage d'origine intact :** **▪ 12 mois pour les sachets et bidons** **▪ 18 mois pour les cartons**
Conditions de stockage	**À l'abri du gel et d'une chaleur excessive**
Aspect / Couleur	**Liquide laiteux**

3-5- Méthodologie d'essai :

3-5-1- Préparation des moules :

On prépare des moules triples haute précision en acier comme indiqué par la (Figure 36). Les dimensions de chaque moule sont (4 mm×4 mm x 16mm).

Figure 3-13 : Moule triple haute précision en acier utilisé durant l'élaboration.

Les éprouvettes : ce sont des éprouvettes prismatiques :

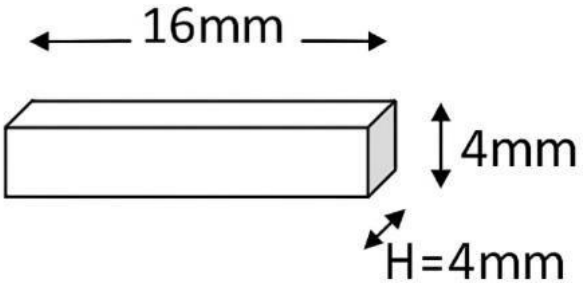


Figure 3-14 : les dimensions d'un eprouvette

3-5-2- Préparation du mortier :

On prend des quantités constantes de (ciment, sable et l'eau) pour préparer neuf échantillons dans lesquels on va introduit des proportions variables de résine et de fibres d'Alfa.

Figure 3-15 : préparation du mortier (ciment, l'eau, sable).

3-5-3- Préparation de la résine et la fibre d'Alfa :

On prend des proportions variables de la résine et la fibre d'Alfa avec le mortier selon le tableau suivant :

Tableau 3.9 : préparation de la résine et la fibre Alfa avec ciment, sable et l'eau pour les différentes proportions

	Ciment	Sable	Eau	Résine (SBR)	Fibre Alfa
1	450g	1350g	225ml	50 g	5 g
2	450g	1350g	225ml	100 g	0 g
3	450g	1350g	225ml	50 g	3 g
4	450g	1350g	225ml	100 g	3 g
5	450g	1350g	225ml	0 g	5 g
6	450g	1350g	225ml	50 g	0 g
7	450g	1350g	225ml	100 g	5 g
8	450g	1350g	225ml	0 g	0 g
9	450g	1350g	225ml	0 g	3 g

Figure 3-16: Préparation de la résine et la fibre d'Alfa.

3-5-4- la préparation d'éprouvettes de dimensions 4×4×16 cm

Dans ce travail expérimental, neuf formulations de mortier ont été préparées, en maintenant constantes les proportions de ciment (450 g), de sable normalisé (1350 g) et d'eau (225 ml), tout en variant les quantités de résine SBR (de 0 à 100 g) et de fibres végétales d'alfa (de 0 à 5 g). Chaque formulation a été utilisée pour fabriquer des éprouvettes prismatiques de dimensions 4×4×16 cm, conformément aux normes NF EN 196-1 et NF P 15-471.

Confection d'éprouvettes 4x4x16 en mortier normal (NF EN 196 -1 et en NF P 15- 471)

Opérations	Introduction De ciment	Introduction De l'eau	- -	Introduction De sable	- -	Raclage La cuve	- -	- -
Durée	-	-	30s	30s	30s	15s	1min 15s	60s
Etat du malaxeur	Arrêt			Vitesse lente	Vitesse rapide	Arrêt		Vitesse rapide

Un processus de malaxage précis et méthodique a été suivi afin de garantir une bonne homogénéité du mélange, selon les étapes suivantes :

A- Tous les composants sont pesés avec précision à l'aide d'une balance de laboratoire. Les fibres d'alfa sont préalablement séchées et coupées à des longueurs homogènes.

B- Chargement des composants dans le malaxeur de laboratoire :

- Le ciment est introduit en premier dans la cuve du malaxeur à l'arrêt.
- L'eau est ensuite ajoutée, et si la formulation contient de la résine SBR, elle est incorporée simultanément à l'eau.
- Le malaxeur est mis en marche à vitesse lente pendant 30 secondes.
- Le sable est ensuite ajouté progressivement, toujours à vitesse lente pendant 30 secondes supplémentaires, puis les fibres d'alfa sont ajoutées à cette étape afin d'assurer une bonne dispersion et éviter leur agglomération.
- Un malaxage final de 30 secondes à vitesse rapide est ensuite effectué pour garantir l'homogénéité complète du mélange.

C- Raclage manuel de la cuve :

Après 1 minute 30 secondes de malaxage, le malaxeur est arrêté et les parois de la cuve sont raclées manuellement à l'aide d'une spatule pour détacher les matériaux collés, pendant 15 secondes.

D- Temps de pause :

Le mélange est ensuite laissé au repos pendant 1 minute 15 secondes, avant de reprendre le malaxage.

E- Reprise du malaxage :

Le malaxeur est remis en marche à vitesse rapide pendant 1 minute.

F- Moulage des éprouvettes :

Le mortier frais est versé dans des moules en deux couches, chaque couche étant compactée à l'aide d'un vibrateur pendant 60 secondes réparties en deux fois 30 secondes, conformément aux prescriptions de la norme.

G- Cure (durcissement) :

Les éprouvettes sont couvertes et conservées dans un environnement de laboratoire pendant 24 heures.

Après démoulage, les éprouvettes sont étiquetées avec toutes les informations nécessaires, puis laissées à durcir pendant 28 jours avant de procéder aux essais mécaniques (flexion et compression à 28 jours).

Figure 3-17 : Préparation de matériaux composite

Figure 3.18: Moulage de contact.

Figure 3.19 : Les éprouvettes des moules triples haute précision pour les neufs échantillons.

3.5.5 . Essai de compression sur mortier (9 éprouvettes) :

Figure 3-20: résultats des essaies de compression.

L'essai de compression est une expérience mécanique utilisée pour mesurer la résistance d'un matériau de mortier (micro-béton) aux forces de compression.

Dans cette expérience, l'éprouvette — un prisme de dimensions 4×4×16 cm — est placée entre deux plateaux métalliques d'une machine de compression, qui applique une force verticale croissante jusqu'à la rupture de l'échantillon (voir figure).

Pendant le test, **la force appliquée au moment de la rupture** est enregistrée, puis utilisée pour calculer **la résistance à la compression** selon la formule suivante :

$$R_c = \frac{F}{S}$$

Où :

- Rc : résistance à la compression (MPa)
- F : charge à la rupture (en newtons)
- S: surface de chargement (en mm²)

Cet essai a été réalisé sur **9 éprouvettes**, chacune correspondant à une formulation différente du mortier, avec des variations dans les proportions de résine et de fibres d'alfa.

L'essai a été conduit conformément à la norme **NF EN 196-1**, afin d'assurer la validité technique des résultats.

Conditions d'essai :

- La vitesse d'application de la charge a été maintenue constante.
- Les moitiés des éprouvettes issues de l'essai de flexion ont été utilisées pour cet essai de compression.
- L'essai a été effectué après **28 jours de cure humide**, afin de garantir un durcissement complet du mortier.

3-5-6-Essai de flexion sur mortier (9 éprouvettes)

Figure 3-21 : résultats des essaies de flexion.

L'essai de flexion est une expérience mécanique permettant d'évaluer la **résistance d'un mortier aux sollicitations en flexion**, c'est-à-dire sa capacité à supporter un moment de courbure sans se rompre. Dans cet essai, une éprouvette prismatique de **dimensions 4×4×16 cm** est posée horizontalement sur deux appuis, tandis qu'une force est appliquée verticalement en son centre par un vérin jusqu'à la rupture (voir figure).

La force maximale appliquée avant la rupture est enregistrée et permet de calculer **la résistance à la flexion** selon la formule normalisée suivante :

$$R_f = \frac{3 \cdot F \cdot L}{b \cdot h^2}$$

Où :

- Rf: résistance à la flexion (MPa)
- F : charge maximale appliquée (N)
- L : portée entre appuis (mm)
- b : largeur de l'éprouvette (mm)

h : hauteur de l'éprouvette (mm)

Cet essai a été réalisé sur **9 éprouvettes**, correspondant aux différentes formulations étudiées dans cette campagne expérimentale. Chaque formulation varie par les quantités de **résine SBR** et de **fibres d'alfa**, tandis que les proportions de ciment, sable et eau sont maintenues constantes.

Conditions d'essai :

- Les éprouvettes ont été conservées dans des conditions de cure humide pendant **28 jours** avant l'essai.
- L'essai a été mené conformément à la **norme NF EN 196-1**.
- Après la rupture en flexion, les **deux moitiés** de chaque prisme ont été récupérées pour effectuer les essais de compression.

Conclusion :

La technique de préparation des fibres végétales utilisées dans cette étude, ainsi que le protocole de leur traitement chimique, ont été présentés. Les étapes de formulation des mélanges et de fabrication des éprouvettes expérimentales ont été détaillées conformément aux normes en vigueur. La caractérisation mécanique a inclus les essais de flexion et de compression. L'essai de flexion a permis d'évaluer la résistance du mortier aux efforts de flexion, tandis que l'essai de compression a mesuré sa capacité à supporter descharges compressives.

Ces résultats sont essentiels pour comprendre l'influence de la résine et des fibres végétales sur le comportement mécanique du mortier, et constituent une base importante pour le développement de matériaux composites plus performants, adaptés aux applications en ingénierie.

Les références :

[1] Neville, A.M. Propriétés des bétons. Éditions Eyrolles, 2013.
[2] Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials, 4e édition, McGraw-Hill, 2014.
[3] EN 196-1. Méthodes d'essais des ciments – Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques, Comité Européen de Normalisation (CEN), 2016.
[4] NF EN 1015-11. Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie – Détermination des performances mécaniques, AFNOR, 2007.
[5] Lanas, J., Álvarez, J.I. "Masonryrepairmaterials: Review of the properties of materialsused for restoration and repair", *Cement and ConcreteResearch*, vol. 33, 2003.
[6] Pavia, S., Hanley, R. An Investigation of Lime Mortars for the Repair of HistoricMasonry, *Journal of Architectural Conservation*, 2005.
[7] K.G.Satyanarayana ,GGC. Arizaga,F. Wypych , «

Biodégradable composites based on lignocellulosicfibers »;

Progress in Polymère Science, 34, 982–1021 (2009).

[8] GASMI, S., & BELGUENDOUZ, C. (2020). Elaboration et caractérisation d'un matériau composite renforcé par les fibres de paille de blé (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
[9] Neville, A.M. Propriétés des bétons. Éditions Eyrolles, 2013.
[10] Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials, 4e édition, McGraw-Hill, 2014.
[11] Cyr, M., Ambroise, J., Pera, J. Mortiers et bétons : formulation, propriétés, durabilité, Presses de l'École des Mines, 2002.
[12] Pavía, S., Hanley, R. Lime-basedmortars for the repair of historicmasonry, *Journal of Architectural Conservation*, 2005.
[13] EN 998-1. Spécifications des mortiers pour maçonnerie – Partie 1 : Mortiers enduits, Comité Européen de Normalisation (CEN), 2016.
[14] Neville, A.M. Propriétés des bétons. Éditions Eyrolles, 2013.
[15] Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials, McGraw- Hill, 2014.
[16] Univers en aquariophilie d'AquaPortail (© 2006-2025) pour un aquarium durable

[17] AFREM (Association Française de Recherche et d'Étude des Matériaux). Recommandations pour la formulation et la mise en œuvre des Bétons Hautes Performances (BHP). Éditions AFREM, 1997.
[18] Callister, W.D. Materials Science and Engineering: An Introduction, 9e édition, Wiley, 2014.
[19] Boutevin, B., Les Résines Synthétiques : Chimie et Applications, Presses Universitaires de France, 2001.
[20] https://fr.scribd.com/document/639196338/fiche-technique-matine.
[21] Fiche technique de sable Boussaâda.
[22] Fiche technique de l'eau .
[23] Fiche technique de la resineSikaLatex®.

Chapitre 4 :

Résultats et discussion

Introduction 67
4.1 Résultat des essaies compression 68
4.2 Résultat des essaies flexion 69
4.3 Résultats compression / flexion 70
4.4 -Flexion en fonction de la résine et la fibre d'Alfa 71
4.5 Interprétation et Conclusion des Données de Flexion et Compression 71
4.5.1 Analyse du Tableau de Données 71
4.5.2 Observations Clés du Tableau 72
4.6 Analyse des Graphiques 72
4.6.1 Flexion en fonction de la Résine et de la Fibre d'Alfa 73
4.6.2- Compression en fonction de la résine et de la fibre d'Alfa 73

Introduction :

Ces dernières années, les matériaux composites ont suscité un intérêt croissant dans le domaine du génie civil et du bâtiment, grâce à leurs propriétés mécaniques supérieures, leur faible densité, ainsi qu'à la possibilité d'incorporer des composants naturels et écologiques. Parmi les fibres végétales prometteuses, la fibre d'alfa se distingue comme une ressource locale abondante, renouvelable et économique, particulièrement accessible dans les régions arides et semi-arides d'Afrique du Nord. Ses qualités incluent une bonne résistance spécifique, une légèreté notable et une compatibilité satisfaisante avec les matrices polymériques, ce qui en fait un excellent choix comme renfort pour les matériaux composites. Ce travail se concentre sur l'étude expérimentale d'un composite constitué de matrice polyester renforcée par des fibres d'alfa, élaboré sous forme de mortier.

L'objectif central est d'étudier l'effet de l'incorporation de ces fibres, qu'elles soient utilisées à l'état brut ou après un traitement chimique, notamment à l'hydroxyde de sodium (NaOH), sur les propriétés mécaniques du matériau. Cette étude s'appuie sur des essais de flexion et de compression menés sur neuf éprouvettes élaborées selon diverses formulations.

Ce chapitre présente en détail la méthodologie employée pour la fabrication des échantillons, les protocoles suivis lors des essais mécaniques effectués, ainsi que les résultats obtenus accompagnés de leur analyse. L'objectif est d'examiner l'influence des fibres traitées chimiquement au NaOH sur la performance mécanique du matériau composite, dans une perspective de valorisation des ressources naturelles visant à développer des solutions de construction durables et efficaces.

4.1 Résultat des essaies compression : (Tableau 4.1)

N°	Ciment	Sable	Eau	Résine	Fibre D'ALFA	Compression en Mpa
1	450 g	1350 g	225 ml	50 g	05 g	14,592
2	/	/	/	100	0	19,014
3	/	/	/	50	3	14,545
4	/	/	/	100	3	15,928
5	/	/	/	0	5	27,196
6	/	/	/	50	0	13,995
7	/	/	/	100	5	16,453
8	/	/	/	0	0	34,546
9	450	1350	225	0	3	27,697

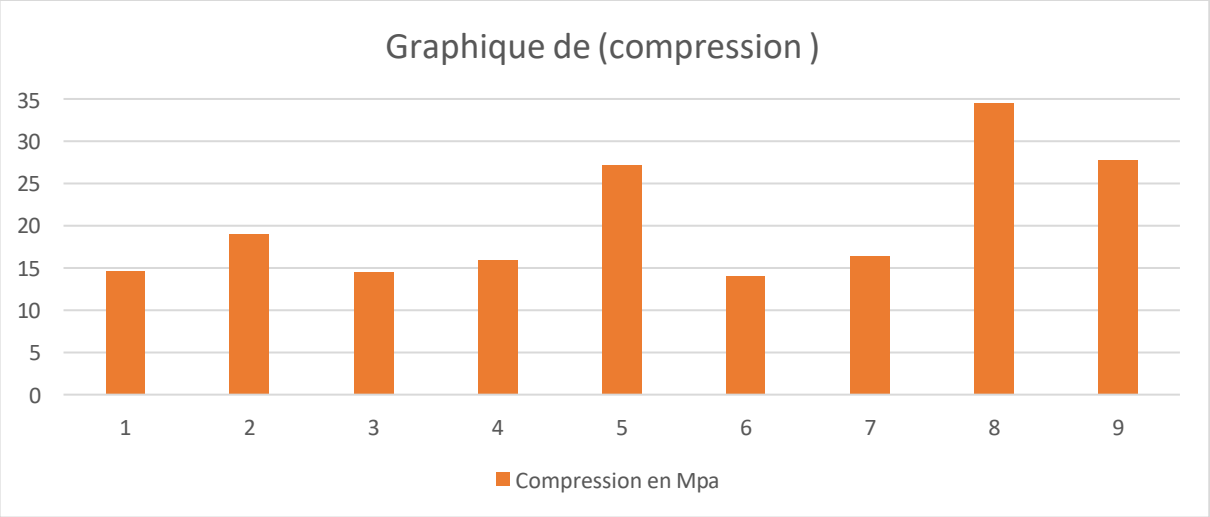


Figure 4.1 : Courbe graphique du résultat de compression.

A-Interprétation de compression :

L'intégration modérée de fibres d'alfa (entre 3 et 5 g) dans la matrice cimentaire classique contribue à une amélioration notable de la résistance à la compression. En revanche, lorsque la fibre est utilisée sans matrice cimentaire (éprouvette 8), la résistance devient extrêmement faible, ce qui démontre que la fibre seule ne peut garantir une performance mécanique satisfaisante.

4.2 Résultat des essaies flexion :(Tableau 4.2)

N°	Ciment	Sable	Eau	RESINE	Fibre D'ALFA	Flexion en Mpa
1	450 g	1350 g	225 ml	50 g	05 g	3,848
2	/	/	/	100	0	7,801
3	/	/	/	50	3	6,925
4	/	/	/	100	3	7,609
5	/	/	/	0	5	9,502
6	/	/	/	50	0	7,288
7	/	/	/	100	5	8,324
8	/	/	/	0	0	9,844
9	450	1350	225	0	3	8,459

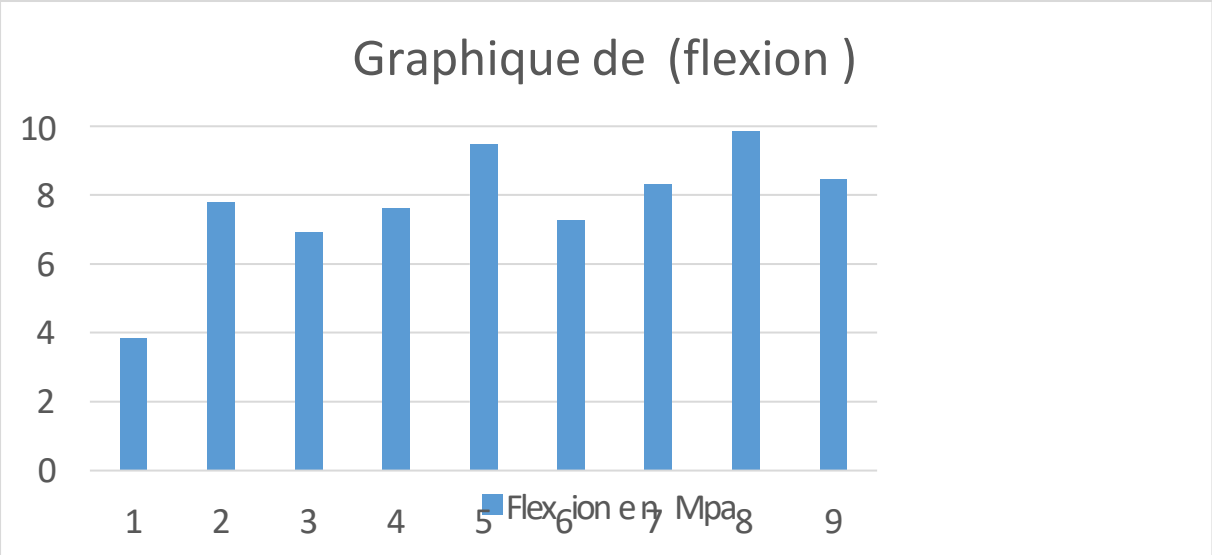


Figure 4.2 : Courbe graphique des résultats de flexion.

B-Interprétation de flexion :

Les données suggérant que le mélange de base (ciment , sable , eau) sans l'ajout de résine ou de fibre d'Alfa offre la meilleure résistance à la flexion , si des additifs doivent être utilises , une optimisation minutieuse est nécessaire , car leur présence , en particulaire celle de la résine , semble généralement nuire aux propriétés de flexion du matériau dans ce contexte .

La meilleure performance avec additifs est observée avec 0g de résine et fibre et 5g de fibre (EXP05), bien que toujours inferieur au cas sans aucune additif.

4.3 Résultats compression / flexion :(Tableau 4.3)

N°	Ciment	Sable	Eau	Résine	Fibre D'ALFA	Flexion en Mpa	Compression en Mpa
1	450 g	1350 g	225 ml	50 g	05 g	3,848	14,592
2	/	/	/	100	0	7,801	19,014
3	/	/	/	50	3	6,925	14,545
4	/	/	/	100	3	7,609	15,928
5	/	/	/	0	5	9,502	27,196
6	/	/	/	50	0	7,288	13,995
7	/	/	/	100	5	8,324	16,453
8	/	/	/	0	0	9,844	34,546
9	450	1350	225	0	3	8,459	27,697

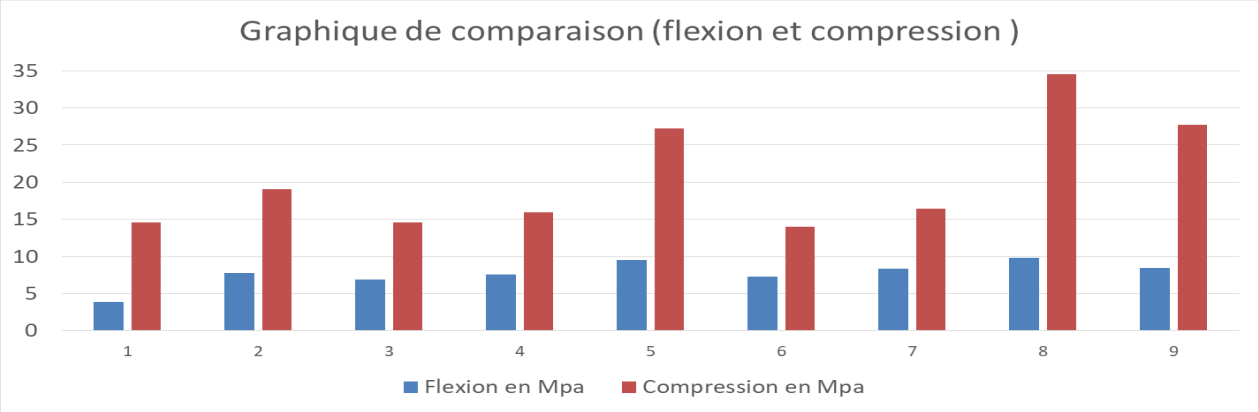


Figure 4.3 : Courbe graphique compression / flexion.

4.3.1 Flexion en fonction de la résine et la fibre d'Alfa : (Figure 4.4)

4.3.2 Interprétation et Conclusion des Données de Flexion et Compression :

4.3.3 Analyse du Tableau de Données :

Le tableau fourni présente neuf échantillons (N°1 à 9) avec des compositions variables en résine et en fibre d'ALFA, et les résultats correspondants en termes de résistance à la flexion et à la compression (en Mpa). Les quantités de ciment, de sable et d'eau sont constantes pour tous les échantillons (450 g, 1350 g, et 225 ml respectivement), ce qui suggère que ces matériaux de base sont contrôlés et que les variations de performance sont attribuées à la résine et à la fibre d'ALFA.

4.3.4 Observations Clés du Tableau :

A- Échantillon 1 (Référence) : Contient 50 g de résine et 0.5 g de fibre d'Alfa. Il présente des valeurs de flexion (3.848 Mpa) et de compression (14.592 Mpa) relativement faibles par rapport à d'autres échantillons.

B- Impact de la Résine :

En comparant les échantillons avec des quantités de fibre d'Alfa similaires ou nulles, on peut observer l'effet de la résine. Par exemple, l'échantillon 8 (0g résine, 0 g fibre) a une flexion de 9.844 Mpa et une compression de 34.546 Mpa, ce qui est significativement plus élevé que l'échantillon 1 (50g résine, 0.5g fibre) ou l'échantillon 6 (50 g résine, 0 g fibre). Cela suggère que l'absence de résine peut, dans certains cas, améliorer la résistance, ou que la résine à 50 g n'est pas optimale.

Les échantillons 2, 4, 7 (100g résine) montrent des valeurs de flexion et compression variées, mais généralement plus élevées que l'échantillon 1. L'échantillon 2 (100g résine, 0 g fibre) a une flexion de7.801 Mpa et une compression de 19.014 Mpa.

C- Impact de la fibre d'Alfa :

L'échantillon 5 (0 g résine, 5 g fibre) présente les valeurs de flexion (9.502 Mpa) et de compression (27.196 Mpa) les plus élevées parmi les échantillons avec 0g de résine. Cela indique que la fibre d'ALFA, même sans résine, contribue positivement à la résistance.

L'échantillon 8 (0g résine, 0 g fibre) a la plus haute résistance à la compression (34.546 Mpa) et une flexion élevée (9.844 Mpa), ce qui est contre-intuitif si l'on s'attend à ce que la résine et la fibre améliorent toujours les propriétés. Cela pourrait indiquer une interaction complexe ou un effet de seuil.

D- Combinaison Résine et Fibre :

L'échantillon 7 (100g résine, 5 g fibre) a une flexion de 8.324 Mpa et une compression de 16.453 Mpa. Comparé à l'échantillon 5 (0g résine, 5g fibre), la présence de résine à 100g semble réduire la performance par rapport à l'absence de résine avec la même quantité de fibre.

L'échantillon 3 (50g résine, 3g fibre) et l'échantillon 4 (100g résine, 3g fibre) montrent que l'augmentation de la résine de 50 g à 100 g avec 3g de fibre d'ALFA entraîne une légère augmentation de la flexion (de 6.925 à 7.609 Mpa) et de la compression (de 14.545 à 15.928 Mpa).

4.4 Analyse des Graphiques :

Les graphiques de dispersion visualisent la relation entre la résine, la fibre d'Alfa, et les propriétés de flexion et de compression.

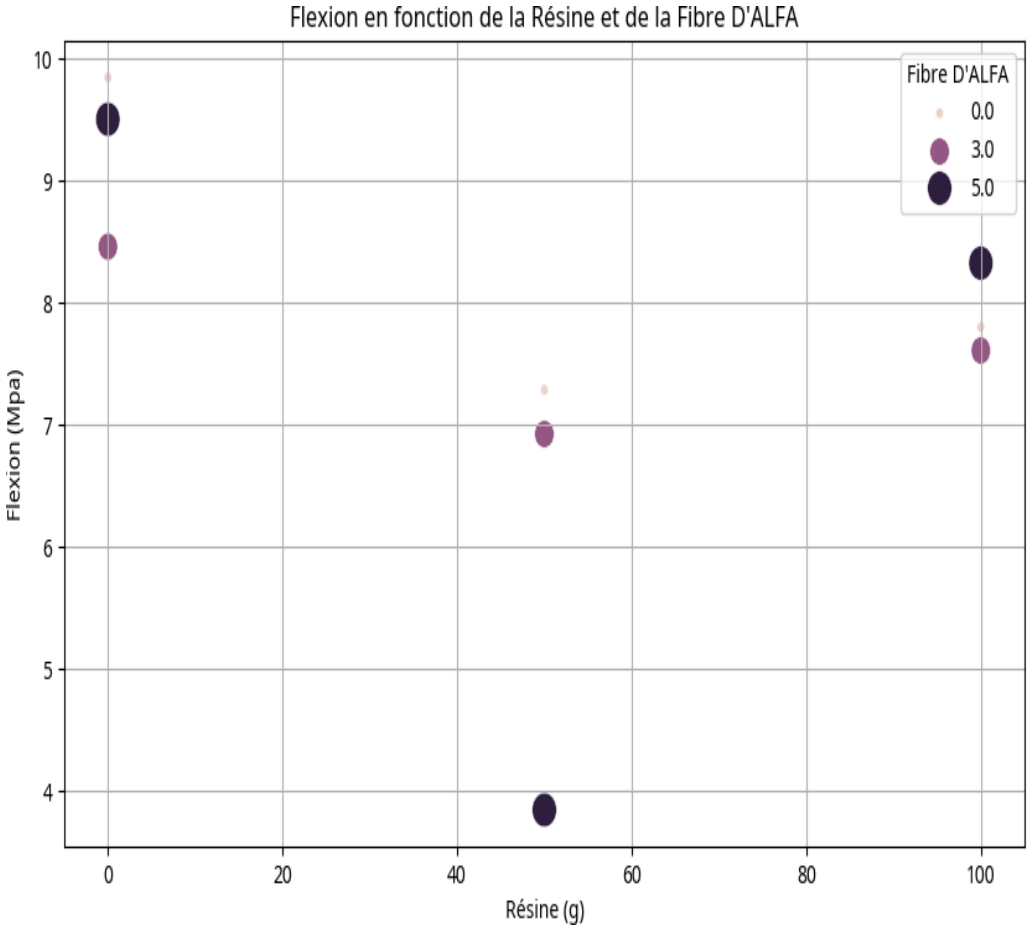
4.4.1 Flexion en fonction de la Résine et de la Fibre d'Alfa

A-Observations :

Les points représentant 0g de résine (x=0) montrent une large gamme de valeurs de flexion. Le point avec 0g de résine et 0g de fibre (le plus grand point noir à x=0) a la flexion la plus élevée (environ 9.8 Mpa). Le point avec 0g de résine et 5g de fibre (point violet foncé à x=0) a également une flexion élevée (environ 9.5 Mpa).

Les points avec 50g de résine (x=50) montrent des valeurs de flexion plus faibles, avec le point de 0g de fibre (point noir à x=50) ayant la flexion la plus basse (environ 3.8 Mpa).

Les points avec 100g de résine (x=100) montrent des valeurs de flexion intermédiaires, avec le point de 0g de fibre (point noir à x=100) ayant une flexion d'environ 7.8 Mpa.



B-Interprétation :

Contrairement à une attente intuitive, l'ajout de résine ne semble pas systématiquement améliorer la résistance à la flexion. En fait, les échantillons sans résine (0g) montrent les meilleures performances de flexion, en particulier l'échantillon sans résine ni fibre (N°8) et celui avec 5g de fibre (N°5).

La présence de 50g de résine semble avoir un effet négatif sur la flexion, surtout en l'absence de fibre d'ALFA. L'échantillon 1 (50g résine, 0.5g fibre) et l'échantillon 6 (50g résine, 0g fibre) ont des flexions relativement faibles.

L'ajout de fibre d'ALFA semble généralement améliorer la flexion, en particulier lorsque la résine est absente (comparer N°8 vs N°5).

4.6.2- Compression en fonction de la résine et de la fibre d'Alfa

A-Observations :

Similaire à la flexion, les points avec 0g de résine (x=0) montrent les valeurs de compression les plus élevées. Le point avec 0g de résine et 0g de fibre (le plus grand point noir à x=0) a la compression la plus élevée (environ 34.5 Mpa).

Les points avec 50g de résine (x=50) ont les valeurs de compression les plus faibles, avec le point de 0g de fibre (point noir à x=50) ayant la compression la plus basse (environ 14 Mpa).

Les points avec 100g de résine (x=100) montrent des valeurs de compression intermédiaires, avec le point de 0g de fibre (point noir à x=100) ayant une compression d'environ 19Mpa.

B-Interprétation :

L'effet de la résine sur la compression est similaire à celui sur la flexion : l'absence de résine (0g) conduit aux meilleures performances de compression. L'échantillon 8(0g résine, 0g fibre) est le plus performant en compression.

La résine à 50g semble également nuire à la résistance à la compression, en particulier sans fibre d'ALFA.

La fibre d'ALFA contribue positivement à la compression, surtout en l'absence de résine (comparer N°8 vs N°5).

Conclusion Générale:

L'analyse des données et des graphiques révèle des résultats inattendus concernant l'influence de la résine et de la fibre d'ALFA sur les propriétés de flexion et de compression des échantillons. Contrairement à ce que l'on pourrait intuitivement attendre, l'ajout de résine ne semble pas systématiquement améliorer la résistance. En fait, les échantillons sans résine (0g) montrent les meilleures performances, tant en flexion qu'en compression. L'échantillon 8, sans résine ni fibre d'Alfa, se distingue comme le plus performant en compression et l'un des meilleurs en flexion.

La fibre d'Alfa, quant à elle, semble avoir un effet bénéfique sur les deux propriétés, en particulier en l'absence de résine. L'échantillon 5(0g résine, 5g fibre) est un

bon exemple de cette amélioration.

Ces observations suggèrent que la résine, aux dosages testés (50g et 100 g), pourrait avoir un effet inhibiteur ou non optimal sur les propriétés mécaniques, ou qu'il existe une interaction complexe avec la fibre d'Alfa qui n'est pas linéaire. Il serait intéressant d'explorer des dosages de résine plus faibles ou différents types de résine, ainsi que d'étudier plus en profondeur les mécanismes d'interaction entre la résine et la fibre d'Alfa pour optimiser les performances de ces matériaux composites

Résumé :
Ce mémoire vise à valoriser les fibres végétales, en particulier les fibres d'alfa, en raison de leurs propriétés chimiques et mécaniques intéressantes, qui en font une alternative prometteuse dans la fabrication de matériaux composites écologiques. Ce travail porte sur l'étude de l'effet de l'incorporation de fibres d'alfa, utilisées à l'état brut ou après un traitement chimique à l'hydroxyde de sodium (NaOH), sur les propriétés mécaniques d'un mortier cimentaire.

Plusieurs formulations ont été préparées, variant les proportions de fibres et de résine, puis soumises à des essais mécaniques tels que la résistance à la compression et à la flexion, dans le but d'évaluer la contribution des fibres à l'amélioration des performances globales du matériau composite.

Le traitement chimique a pour objectif d'améliorer l'adhérence interfaciale entre les fibres et la matrice polymère, en éliminant les impuretés et composants non cellulosiques, ce qui permet un meilleur ancrage des fibres dans la matrice.

Les résultats obtenus montrent que l'ajout contrôlé de fibres d'alfa permet une amélioration notable de certaines propriétés mécaniques, notamment à des taux d'incorporation optimisés, ce qui ouvre la voie à leur utilisation dans des applications liées au bâtiment et aux matériaux alternatifs.

Mots-clés :
Fibres végétales, fibres d'alfa, matériaux composites, traitement chimique, résine, propriétés mécaniques.

Abstract: This thesis aims to promote the use of plant-based fibers, particularly alfa fibers, due to their notable chemical and mechanical properties, making them a promising alternative in the development of eco-friendly composite materials. This work focuses on studying the effect of incorporating alfa fibers, either in their raw state or after chemical treatment with sodium hydroxide (NaOH), on the mechanical properties of a cement-based mortar.

Several formulations were prepared with varying fiber and resin contents, then subjected to mechanical tests such as compressive and flexural strength, in order to assess the contribution of the fibers to the overall performance of the composite material.

The chemical treatment aims to enhance the interfacial adhesion between the fibers and the polymer matrix by removing impurities and non-cellulosic components, thereby improving the fiber-matrix bonding.

The results showed that controlled incorporation of alfa fibers led to a significant improvement in certain mechanical properties, particularly at optimized incorporation rates, highlighting their potential for use in construction and alternative material applications.

Keywords:
Plant fibers, alfa fibers, composite materials, chemical treatment, resin, mechanical properties.

ملخص تهدف هذه المذكرة إلى تثمين الألياف النباتية، وبشكل خاص ألياف الحلفاء، نظرا" لما تتمتع به من خصائص كيميائيةوميكانيكية مميزة، تجعلها بديل" واعد"ا في تصنيع المواد المركبة الصديقة للبيئة. تم في هذا العمل دراسة تأثير إضافة ألياف ، على الخصائص الميكانيكية للمونة (NaOH) الحلفاء، سواء كانت خا "ما أو بعد معالجتها كيميائي"ا بهيدروكسيد الصوديوم.الإسمنتية شملت الدراسة إعداد عدة عينات بتركيبات مختلفة من حيث محتوى الألياف ونسبة الراتنج، تلتها اختبارات ميكانيكية مثل .مقاومة الانضغاط والانحناء، وذلك بغرض تقييم مدى مساهمة الألياف في تحسين الأداء العام للمادة المركبة كما تهدف المعالجة الكيميائية إلى تحسين قابلية الارتباط بين الألياف والمصفوفة البوليميرية، وذلك من خلال إزالة المواد .الشمعية والسليلوز غير المتفاعل، وبالتالي تعزيز التماسك الداخلي للمادة المركبة أظهرت النتائج أن الإدماج المدروس لألياف الحلفاء يساهم في تحسين بعض الخواص الميكانيكية، لا سيما عند نسب معينة .من الإضافة، مما يؤكد إمكانية استخدامها في تطبيقات البناء والمواد البديلة

الكلمات المفتاحية الألياف النباتية، ألياف الحلفاء، المواد المركبة، المعالجة الكيميائية، الراتنج، الخواص الميكانيكي