

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

جامعة سعيدة الدكتور مولاي الطاهر
UNIVERSITE DE SAIDA _Dr. MOULAY TAHAR_



Faculté de Technologie

Département de génie civil et de l'hydraulique

Projet De Fin De Cycle

Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Génie Civil

Spécialité : Structures

Thème

Contribution à l'étude du comportement mécanique d'un béton à base de fibres végétales (fibres d'Alfa)

Présenté par :

Sai Mohamed El-Habib Benameur/ Khechab Toufik

Soutenu le 00 / 06/ 2023, devant le jury composé de :

- M. Harbit Mohamed Yazid.....(Encadrant)
- M. Yeghnem Redha..... (Co-encadrant)
- M. Touil Brahim..... (Président)
- Mme. Benguediab Soumia..... (Examinatrice)

Année Universitaire : 2023–2024

DEDICACES



Je dédié Ce modeste travail :

A Celle qu'elle a veillée sur moi pendant toujours, ma Chère
mère,

A Mon très Cher père

À mes frères et sœurs et ma
famille À tous mes amis et
collègues

À tous les ingénieurs de
laboratoire LTPO Saïda

À tous les enseignants du département de génie
civil et hydraulique

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de
continuer

.....



Habib et Toufik

REMERCIEMENTS

Nos remerciements et louanges vont primordialement à ALLAH le tout puissant qui nous a donné la force, la santé et l'opportunité de mener ce modeste travail à terme.

Nous tenons à remercier tout d'abord nos encadrants Monsieur Yeghnem Redha et Monsieur Harbit Mohamed Yazid pour leurs patience, et surtout pour la confiance, leurs remarques et conseils, leur disponibilité et leur bienveillance.

On voudrait également remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer Ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques.

On tient aussi à remercier les ingénieurs responsables de laboratoire LTPO et Laboratoire de Génie Civil, Université du Moulay Taher

Nos vifs remerciements à tous mes enseignant (e) s, en
Signe d'un grand respect et d'un profond amour



Merci à vous tous

ملخص

إن تقوية مواد البناء، وخاصة الخرسانة، بالألياف هي تقنية تستخدم بشكل متزايد، وذلك بهدف تحسين خصائصها الميكانيكية، وخاصة مقاومتها للجر والقص. الهدف الرئيسي لهذا العمل المقدم في هذه الأطروحة هو رؤية مساهمة ألياف الحلفاء وسلوكها على الخرسانة وكذلك الخصائص الميكانيكية. تم استخدام طريقة درو جوريس لتكوين الخرسانة

الكلمات المفتاحية: الخرسانة، الألياف الخرسانية، ألياف الحلفاء، الخواص الميكانيكية، طريقة درو جوريس.

Résumé

Le renforcement des matériaux de construction, particulièrement les bétons par des fibres est une technique de plus en plus utilisée dans le but d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques, notamment leurs résistances à la traction et au cisaillement. Ce travail présenté dans ce mémoire, a pour objectif principal de constater l'influence de l'apport des fibres d'Alfa sur les caractéristiques mécaniques du béton .La méthode Dreux–Gorisse a été utilisée pour la composition de béton

Mots clés : béton, béton de fibres, fibres d'Alfa, propriétés mécaniques, Méthode Dreux–Gorisse.

Sommaire

–Introduction générale–	2
–Aperçu bibliographique sur les bétons–Introduction générale–	2
–Aperçu bibliographique sur les bétons–	5
–Aperçu bibliographique sur les bétons–	5
Introduction	6
Historique :	6
Définition d'un béton :	6
Composition du béton :	7
Les différents types de béton	7
Les granulats :	8
Les différents types de ciments courants :	9
Les Différents Types de Fibres Industrielles Utilisées dans	9
Les Fibres d'Amiante :	9
Les Fibres de Verre	12
Les Fibres de Carbone :	13
1.1 Les Fibres Polymères	13
Les fibres d'acier :	14
Les Fibres Euro–Steele	15
Les Fibres Bekaert de Chez Dra mix	15
Les Fibres Harex	15
Les fibres Ruban en Fonte Amorphe de Pont–à–Mousson	15
Les Fibres à Tête d'encrage en Acier Tréfile	16
Les Fibres de Beki –Shield	16
Les fibres végétales :	16
Classification des Fibres Végétales	17
Les Fibres de Feuilles	17
Les Fibres de Tiges	17
Les Fibres de Bois	17
Les Fibres de Surface	18
Caractéristiques Physiques et Mécaniques des Fibres Végétales	18

Caractéristiques Chimiques des Fibres Végétales.....	19
1.2 La Cellulose.....	19
Hémicellulose	19
Lignine.....	20
Utilisation des Fibres dans la Construction	20
Historique du béton de fibres :.....	24
Les fibres :.....	26
Les types des fibres	26
Fabrication de béton de fibres.....	28
Propriétés du matériau composite (béton de fibre) :	29
Comportement mécanique des bétons de fibres.....	30
Définition de la fibre végétale.....	37
Classification des fibres végétales	37
Morphologie de la fibre végétale	39
Propriétés écologiques des fibres végétales :	41
Structure de la fibre végétale	41
Composition chimique des fibres végétales :.....	43
Propriétés mécaniques de la fibre végétale	44
L'utilisation des fibres végétales dans le domaine de génie civil :	45
IV.2 Caractéristiques des matériaux utilisés :	48
IV.2.1 Les fibres :	48
IV.2.2 Le ciment :.....	48
IV.2.3 L'eau de gâchage :.....	49
IV.2.4 Granulats (Sable et gravier) :	49
IV.3 Les essais physiques :	50
IV.3.1 Classification des sables :	51
IV.3.2 caractéristiques physiques de sable :	51
IV.3.2.1 Masse volumique (absolue) : NF P18-555	51
IV.3.2.2 Masse volumique apparente :	52
IV.3.2.3 Masse volumique apparente du gravier :.....	53
IV.3.2.4 Masse volumique à l'état compact :.....	54
IV.3.2.5 Equivalent de sable visuel : (E.S.V) :	54
IV.3.2.6 Equivalent de sable piston :(E.S.P).....	55
IV.3.2.8 L'analyse granulométrique :	56
V.2 La partie théorique :	62

V.2.1 Classification des granulats :	62
V.2.2 Choix de la dimension maximale des granulats.....	63
V.2.3 Détermination de la résistance moyenne du béton " σ'_{28} ".....	63
V.2.4 Détermination le dosage en ciment	63
V.2.5 Détermination du dosage :	64
V.2.6 Détermination du dosage en eau	64
V.2.7 Traçage de la courbe GC granulats	64
V.2.8 Détermination en pourcentage des différents granulats :	65
V.2.9 Détermination du volume des matériaux utilisés :	65
V.2.9.1 Détermination du volume absolu " V " de l'ensemble des granulats.	65
V.2.9.2 Détermination du volume absolu " V_e " du ciment :	66
V.2.9.3	66
V.2.9.4	66
V.2.9.5 Détermination du volume absolu " V_g " du gravier 3/8 et gravier 8/15 :.....	66
V.2.9.6 Détermination du dosage en matériaux pour $1m^3$ de béton :	66
V.3 La partie expérimentale :	66
V.3.1 Le matériel utilisé :	66
V.3.2 L'essai de consistance au cône d'Abrams :	67
V.3.3 Dimensions et remplissage des éprouvettes :	70
V.3.4 Moulage ou confection des éprouvettes	70
V.3.5 Démoulage des éprouvettes après 24h	70
V.3.6 Vérification de la résistance à la compression à 28 jours :	1

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 : Exemples des matériaux composites	11
Tableau 1.2 : Caractéristiques mécaniques des fibres d'amiante	12
Tableau 1.3 : Caractéristiques mécaniques des fibres de verre.....	12
Tableau 1.4 : Propriétés mécaniques des fibres de carbone	13
Tableau 1.5 : Propriétés mécaniques des fibres de polymère	14
Tableau 1.6 Application des divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment	21
Tableau 2.1 : Les propriétés géométriques et mécaniques des différentes fibres.....	28
Tableau 2.2 : Ténacité des matériaux à base de ciment renforcés de fibres par rapport à des matériaux nonrenforcés.....	30
Tableau 3.1 : Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales.....	40
Tableau 4.1 : Caractéristique des fibres d'alfa.....	48
Tableau 4.2 : Classification des sables suivant la valeur de module de finesse.....	50
Tableau 4.3 : La masse volumique absolue du sable.....	51
Tableau 4.4 : Résultats des masses volumiques des gravillons.....	52
Tableau 4.5 : La masse volumique apparente à l'état lâche.....	52
Tableau 4.6 : Gravier 3/8.....	53
Tableau 4.7 : Gravier 8/15 :.....	57
Tableau 4.8 : Sable (1500g):.....	57
Tableau 4.9 : Gravier 3/8(1500g):.....	58
Tableau 4.10 : Gravier 8/15(3200g) :.....	58
Tableau 5.1 : la détermination de G.....	72
Tableau 5.2 : Coef correcteur K.....	74
Tableau 5.3 : composition du béton témoin et sa résistance en compression à 28 j.....	81
Tableau 5.3 : composition du béton à base des fibres d'Alfa et sa résistance en compression à 28 j.....	82

Liste des figures

Figure 1.1 : Schématisation des fibres végétales.....	18
Figure 2.1 : Les catégories de fibres végétales.....	26
Figure 2.2 : Différentes formes de fibres.....	27
Figure 2.3 : Fissuration dans le béton sans et avec fibres.....	31
Figure 2.4 : Comportement de charge-déformation de béton avec fibres et béton sans fibres.....	32
Figure 2.5 : Effet de la taille d'agrégat sur la distribution des fibres dans un carré avec une longueur égale à la longueur d'une fibre.....	33
Figure 3.1 : Les catégories des fibres végétales.....	38
Figure 3.2 : Variation du diamètre le long de la fibre de lin.....	39
Figure 3.3 : Photographie en microscopie électronique à balayage d'une fibre de coton.....	40
Figure 3.4 : Structure du bois (observations multi-échelles).....	42
Figure 3.5 : Modèle de description de la structure d'une fibre végétale.....	43
Figure 3.6 : Représentation schématisée d'une fibre de bois.....	44
Figure 3.7 : Exemple de défaut structural sur une fibre de lin.....	45
Figure 4.1 : Ieciment.....	49
Figure 4.2 : L'eau gâchage.....	49
Figure 4.3 : Essais d'équivalent de sable.....	53
Figure 4.4 : Essai équivalent de sable exécutés au laboratoire.....	55
Figure 4.5 : Matériels de l'analyse granulométrique.....	56
Figure 5.1 : La courbe granulométrique.....	62
Figure 5.2 : L'abaque de dosage de ciment.....	63
Figure 5.3 : la courbe gc granulaire.....	64
Figure 5.4 : Préparation du béton.....	77
Figure 5.5 : Mesure l'affaissement au cône d'Abrams.....	77
Figure 5.6 : Essai de cône d'Abrams.....	78
Figure 5.7 : Moulage des éprouvettes.....	79
Figure 5.8 : Démoulage des éprouvettes.....	79
Figure 5.9 : Ecrasement du béton.....	80

–Introduction générale–

Un matériau composite est constitué dans le cas le plus général d'une ou de plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. Les matériaux composites sont anciens, il y a plusieurs millénaires, les artisans de l'Egypte ancienne augmentaient les propriétés mécaniques des briques par adjonction de pailles courtes à l'argile fraîche.

Le béton, depuis son origine, a été réalisé à partir des composants de base qui sont : le ciment, l'eau, les granulats et éventuellement les adjuvants. Le béton est un matériau minéral, il se prête à toutes les constructions en répondant aussi bien à des exigences techniques de performances et de durabilité qu'à une recherche esthétique.

Le béton est le matériau le plus utilisés dans la construction, mais, il résiste mal à la traction et à la fissuration. Le renforcement des bétons par des fibres peut offrir des solutions techniques pour l'amélioration des performances mécaniques en particulier en traction et le cisaillement.

Des applications sont développées grâce à la capacité prouvée par l'expérience de ces nouveaux composites, à limiter et à contrôler la fissuration sous sollicitations mécaniques et à améliorer la résistance à la flexion et au choc.

Plusieurs types des fibres sont utilisés dans le renforcement des bétons, notamment : les fibres d'acier, de verre, de polymère, de carbone et végétales etc.

Les fibres présentent des caractéristiques géométriques et mécaniques intéressantes selon leur nature. Chacune a une influence particulière sur les lois de comportement mécanique du béton, ce qui se traduit par des applications adaptées et spécifiques.

L'objectif de notre étude expérimentale consiste à étudier l'influence de l'introduction des fibres d'aluminiums dans le béton pour bien comprendre l'influence de ces fibres sur la résistance mécanique.

En résumé, Ce mémoire se divise en deux parties, la première partie répartie sur trois chapitres représente un aperçu bibliographique sur les bétons à base de fibres et leurs composants. La deuxième partie est une présentation du travail expérimental mené en laboratoire (deux derniers chapitres).

Ainsi, ce manuscrit présent :

Dans le premier chapitre nous présentons les généralités sur les bétons, les différents types de fibres et leur caractéristique et les propriétés des fibres

Dans le deuxième chapitre nous avons résumé, l'état de connaissance sur l'historique, domaine d'application et le comportement mécanique des bétons de fibres. Quelques recherches sur le béton de fibre et leur comportement à l'état frais et durci (résistance à la compression, résistance à la traction par flexion).

Dans le troisième chapitre nous avons définis les fibres végétales, le comportement de fibres végétales, les propriétés mécaniques et l'utilisation des fibres végétales dans le domaine de génie civil.

Le quatrième chapitre s'intéresse à l'étude des caractéristiques physico-chimiques des constituants élémentaires utilisées, à savoir : le ciment, le sable, l'eau de gâchage et les fibres d'aluminium.

Dans le cinquième chapitre, nous montrerons la méthode de Dreux-Gorisse et la préparation du mélange avec résultat et interprétation.

On terminera ce travail par une conclusion générale.

–Aperçu bibliographique sur les
bétons–

Introduction

Le béton est le matériau de construction par excellence depuis presque un siècle. Constituer à l'origine de seulement quatre composants (gravillons, sable, ciment et eau), leurs méthodes de formulation ont évolué d'un savoir-faire empirique vers la science des matériaux. Ces constituants (composants) sont dosés, en fonction de leurs propriétés, de manière à obtenir, après réaction physico-chimique entre eux, un produit solide dont les caractéristiques physiques et mécaniques peuvent être très supérieures à celles des roches les plus résistantes. Dans la mesure où le ciment est un liant hydraulique lui-même fabriqué avec des minéraux naturels, le béton peut être considéré comme une roche artificielle. Nous abordons dans ce travail un type de béton qui est le béton ordinaire, est un matériau de construction composite constitué d'un mélange de granulats (sable, gravillons) et d'un liant. Le liant appelé ciment, c'est un liant hydraulique.

Historique :

Le béton est né du besoin d'avoir un matériau de construction bon marché, malléable au moment de le mettre en place et résistant ensuite. La forme la plus ancienne du béton remonte à 7000 ans avant JC. Un matériau similaire était connu des égyptiens et des Romains, mais l'essor réel du béton tel qu'on le connaît aujourd'hui est dû à l'anglais Joseph Aspidine qui en 1824 fait breveter le ciment Portland [1]

Définition d'un béton :

Un béton est un matériau composite résultant du mélange judicieusement dosé d'un squelette granulaire (gravier et sable) et d'une matrice pâteuse durcie composée de ciment, d'eau, le plus souvent, parfois d'adjuvants. Après le durcissement il devient un matériau pierreux [1]

Composition du béton :

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydraté et le sable constituent le mortier. Celui-ci a pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomerat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci.



Propriétés mécanique :

Le béton est caractérisé par son excellente résistance à la compression et une mauvaise résistance à la traction. Les zones tendues sont fissurées. L'acier bénéficie d'une excellente résistance en compression et en traction. Mais dans le cas de la compression il faut veiller à éviter le flambement des armatures

Les différents types de béton

1. Le béton armé, composé d'une armature en acier recouverte de béton.
2. Le béton fibré est renforcé de fibres synthétiques ou métalliques qui renforcent sa traction ou sa tenue au feu.
3. Le béton précontraint consiste à mettre en tension des câbles en acier avant la prise, ce qui va comprimer le béton une fois solidifié.
4. Le béton Haute Performance (BHP), avec une plus faible porosité et une plus

grande résistance à la corrosion et au gel.

5. Le béton auto plaçant est plus fluide que le béton classique et présente donc l'avantage de pouvoir être coulé dans un coffrage sans vibration (technique utilisée pour éliminer les bulles d'air).

Les granulats :

Les granulats est un fragment de roche destiné à la fabrication d'ouvrage de travaux publics, de génie civil et de bâtiment. Leur nature et leur forme dépendent de leur provenance et des techniques de production.

Le granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimensions (comprise entre 0 et 125). Se situe dans l'une des 7 familles suivantes :

- Fillers
- Sablons
- Sables
- Graves
- Gravillons
- Ballast
- Entichements.

Classification des granulats :

Le granulat est désigné par le couple d/D avec :

- d : dimension inférieure du granulat
- D : dimension supérieure du granulat

Les différents types de ciments courants :

Ciments courants ont pour constituant principal le clinker (norme ENV. 197-1). Au Clinker sont ajoutées, suivant la nature du ciment voulu, les additions minérales de différentes natures.

- Laitier granulé de haut fourneau (S)
- Pouzzolanes naturelles (Z)
- Cendres volantes (V et W)
- Fumées de silice (D)
- Calcaire (L)
- Schistes calcinés (T)
- Constituants secondaires.

Les ciments courants normalisés sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne, l'ancienne appellation est indiquée entre parenthèse. Pour chaque ciment sont indiqués les désignations propres et les pourcentages respectifs de leurs constituants.

Les Différents Types de Fibres Industrielles Utilisées dans

Le Renforcement du Béton :

Les Fibres d'Amiante :

Les fibres d'amiante sont constituées de silicates de magnésium hydratés parfaitement compatibles avec la pâte de ciment, elles possèdent une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé. Ce sont des fibres très commercialisées.

Les fibres d'amiante ne conviennent pas pour armer les mortiers ou les bétons car leur répartition est très difficile et elles nécessitent beaucoup d'eau de gâchage.

En plus, leur utilisation dans le renforcement des ciments sont de plus en plus délaissés et même interdite par le règlement dans beaucoup d'application à cause du danger qu'elle représente pour la santé humaine

Tableau 1.1 : Exemples des matériaux composites[2]

Type de matrice	Constituants	Domaine d'application
1- Composites à matrice organique		
? Papier carton	Résine charges/ fibres cellulosiques.	Imprimerie, emballage, etc.
? Panneaux de particules	Résine/ copeaux de bois.	Menuiserie
? Panneaux de fibres.	Résine/fibres de bois	Bâtiment
? Toiles enduit	Résines souples/tissus	Sport, bâtiment
? Matériaux d'étanchéité.	Elastomère/bitume/textiles	Toiture, terrasse, etc.
? Pneumatiques	Caoutchouc/toile/acier	Automobile
? Stratifié	Résine/charges/fibres de verre, de carbone, etc.	Domaines multiples
? Plastiques renforcés	Résine/microsphères	
2- Composites à matrice minérale		
? Béton	Ciment/sable/granulats	Génie civil
? Composite carbone – carbone	Carbone- fibre de carbone	Aviation, espace, sports, biomédecine
? Composite céramique	Céramique/fibres Céramiques	Pièces thermo-mécaniques
3-Composite à matrice métallique	Aluminium/fibres de bore Aluminium/fibres de carbone	Espace
4- Sandwich		
Peau	Métaux, stratifié	Domaines multiples
Âmes	Mousse, nid d'abeilles balsa, plastiques renforcés etc.	

Tableau 1.2 : Exemples des matériaux composites [3]

Type de fibre	Amiante
Diamètre D (mm)	0.0002 - 0.002
Longueur (mm)	5
Masse Volumique ? (g/cm ³)	2.6 - 3
Résistance à la rupture s_{fu} (MPa)	100 - 300
Module d'Young E (GPa)	80 - 150

Les Fibres de Verre

Les fibres de verre sont très fragiles, elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines ou de fils coupés. Les caractéristiques mécaniques des bétons de fibres de verre diminuent avec le temps à cause de l'action corrosive des alcalis contenus dans le ciment sur les fibres, qui provoquent des microfissurations. Cependant, des recherches ont pu mettre en évidence une dernière génération de fibre de verre (type S) ayant une bonne résistance aux alcalis

Tableau 1.3 : Caractéristiques mécaniques des fibres de verre. [3]

Type de verre	E	R	S
Résistance à la rupture s_{fu} (MPa)	3400	4400	4900
Module d'Young E (GPa)	73	86	87
Masse Volumique ? (g/cm ³)	2.54	2.55	2.54

Les Fibres de Carbone :

Suivant les conditions de fabrication, il existe toute une variété de fibres de carbone mais actuellement trois types de fibres sont commercialisés :

- Les fibres hautement résistant (H.R.)
- Les fibres à module intermédiaire (I.M.)
- Les fibres à hauts modules (H.M.)

Les fibres de carbone sont très fragiles ce qui rend l'opération de malaxage du béton de ces fibres très difficile [3]. Pour cela, elles sont ajoutées par la suite au béton par projection. Par ailleurs, le béton de ces fibres présente des caractéristiques de durabilité très intéressantes [4]

Tableau 1.4 : Propriétés mécaniques des fibres de carbone [3]

Type de carbone	H.R.	H.M.
Diamètre D (mm)	8	8
Masse Volumique ρ (g/cm ³)	1.75	1.81
Résistance à la rupture s_{fu} (MPa)	3000 - 5000	2800
Module d'Young E (GPa)	220	400

1.1 Les Fibres Polymères

Les fibres de polymères sont d'origine plastique, on distingue trois familles principales de ces fibres à savoir [3] :

Le polyamide 6.6 (PA6.6), qui représente la famille la plus importante des plastiques par leur tonnage. Le PA6.6 résiste mal aux acides minéraux.

Le polychlorure de vinyle (PVC), est une matière thermoplastique obtenue par polymérisation du chlorure de vinyle. Le PVC résiste bien aux acides et aux alcalis.

Le polypropylène (PP), est un thermoplastique formé de chaîne linéaire constitué de motifs propylènes dans le cas d'un homopolymère et d'une altération contrôlée de motifs propylène et éthylène dans les copolymères. Le PP résiste bien aux alcalis et aux acides.

Le module de Young de ces fibres est de même ordre de grandeur que celui du béton. L'adhérence fibre-béton est généralement faible, du fait qu'il n'y a aucune liaison chimique possible entre les fibres et la matrice, ce qui limite le reprise des efforts par les fibres à l'interface fibre-matrice après la fissuration de la matrice Par contre, il faut noter l'excellente résistance de ces fibres (PVC, PP) vis-à-vis aux acides, aux sels et alcalins du béton [3]. De ce fait, de récentes études menées sur des bétons renforcés par ce type de fibres ont montrés que ce matériau composite présentait des propriétés mécaniques comparables à celle d'un béton renforcé par des fibres de verre [3].

Tableau 1.5 : Propriétés mécaniques des fibres de polymère [5]

Type de polymère	Référence	Module d'élasticité E (GPa)	Contrainte à la traction (MPa)
PA6.6	Rhône-poulenc A 218	3	90
PVC	PVC rigide de Solvay	2.5	50
PP	RY6100 de Shell	5	40

Les fibres d'acier :

Les fibres d'acier restent parmi les fibres les plus utilisées dans le renforcement des bétons ou mortiers. En effet, ces fibres présentent une bonne résistance à la traction et un module d'élasticités très élevé [6]. Parmi les fibres d'acier les plus utilisées nous citons :

Les Fibres Euro–Steele

Ce sont des fibres ondulées en acier à haute résistance, tréfilé, dur, à teneur en carbone inférieur à 0.15%. La contrainte limite de rupture en traction est de 1400 MPA [3]

Les Fibres Bekaert de Chez Dra mix

Ces fibres en acier tréfilé sont fabriquées par Bekaert. Elles se présentent sous forme de plaquettes collées, ce qui facilite leur introduction dans le béton et évitent la formation d'oursins. En effet, la colle se dissout facilement dans l'eau de gâchage. Les fibres les plus courtes sont actuellement utilisées en béton projeté. Elles ont une résistance à la traction minimale de 1100 MPA. Leur diamètre varie de 0.4 à 0.8 mm et leur longueur de 25 à 60 mm [13 ; 3]

Les Fibres Harex

La fibre Harex est obtenue par fraisage. Les copeaux, produits légèrement enroulés sur eux-mêmes, possèdent une résistance à la traction d'environ 700 MPA [3]

Les fibres Ruban en Fonte Amorphe de Pont-à-Mousson

Les fibres sont développées par SEVA (Pont-à-Mousson), sont des rubans de fonte amorphe obtenue par refroidissement brutal. Cette trempe crée une structure vitreuse qui est en partie à l'origine de sa résistance à la corrosion.

Les longueurs commercialisées de ces fibres sont de 15, 30, 45 et 60 MM. Une de leurs caractéristiques importantes est leur grande résistance à la corrosion. La résistance à la traction de ces rubans est d'environ 200 MPA

Les Fibres à Tête d'encrage en Acier Tréfile

Ces fibres sont développées par EURO-STEEL, elles se distinguent par leur capacité à développer très tôt un bon ancrage, donc à limiter la chute d'effort post fissuration. L'angle d'inclinaison des têtes a été choisi pour permettre
Un confinement du béton [3].

Les Fibres de Beki –Shield

Ce sont des fibres métalliques spéciales, fabriquées et commercialisées sous le nom de Beki-Shield, présentent des caractéristiques intéressantes, elles sont très minces et moins abrasives, moins irritantes au toucher que les fibres de verre. Ces fibres sont fabriquées à partir d'un acier inoxydable qui offre de très grande résistance à la corrosion [7].

Les fibres végétales :

L'utilisation des fibres naturelles d'origine végétales dans la construction remonte aux années où l'on fabriquait des briques renforcées par la paille ou des roseaux. Dans le temps moderne (depuis l'année 1970), le premier composite liant avec les fibres végétales était le plâtre. De ce fait, plusieurs ouvrages sont réalisés avec le plâtre renforcé de fibres végétales [8,9].

Actuellement le monde connaît de récents développements dans le domaine de renforcement du ciment et béton avec des fibres végétales.

Suite aux problèmes de santé posés par les fibres d'amiante, plusieurs axes de recherches sont orientés vers la substitution de celles-ci par les fibres végétales [10,11].

Classification des Fibres Végétales

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance.

A s'avoir : les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface.

Les Fibres de Feuilles

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

Les types de fibres de feuilles les plus cultivées sont la fibre de sisal, de Henequen et d'alfa [9].

De ces faits, plusieurs chercheurs ont montré l'efficacité du renforcement du ciment par les fibres de feuilles.

Les Fibres de Tiges

Les fibres de tige sont obtenues dans les tiges des plantes dicotylédones. Elles ont pour rôle de donner une bonne rigidité aux tiges de plantes.

Les fibres de tige sont commercialisées sous forme de paquet de cor et en toute longueur.

Elles sont par la suite séparées individuellement par un processus de défilage. Les fibres, une fois séparées, sont utilisées dans la fabrication des cordes ou de textile ou bien dans le renforcement du ciment et béton.

Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie de Sunn, de kennef, de urena et de chanvre [10].

Les Fibres de Bois

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes. Plusieurs chercheurs [11] ont montré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement des ciments.

Les Fibres de Surface

Les fibres de surface entourent en général la surface de la tige, de fruits ou de grains. Les fibres de surface des grains constituent le groupe le plus important dans cette famille de fibres. Nous citons entre autre le Cotton et la noix de coco (coco).

Les fibres de coco ont donné de bons résultats pour la résistance à la flexion du ciment de fibre [13].

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

Caractéristiques Physiques et Mécaniques des Fibres Végétales

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre sa densité et son teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau.

Caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité.

Les fibres végétales, ont constaté que la résistance à la traction et le module d'élasticité des fibres végétales sont proportionnelle à leur teneur en cellulose. Ainsi, la résistance dépend de la forme des spirales des filaments ils constatent que les fibres à grand angle spiral ont une grande déformabilité, mais une faible résistance, tandis que les fibres à faible angle spirale ont une faible déformabilité et une grande résistance.

Nous constatons que les fibres végétales sont naturellement humides.

Pratiquement elles absorbent des quantités importantes d'eau à la saturation.

La densité de ces différentes fibres est très rapprochée, alors que leurs résistances à la traction et leurs modules d'élasticité sont très variable. Cela est dû à la variation de leur composition chimiques et leur texture et spécialement l'orientation de leurs filaments et leur angle spiral.

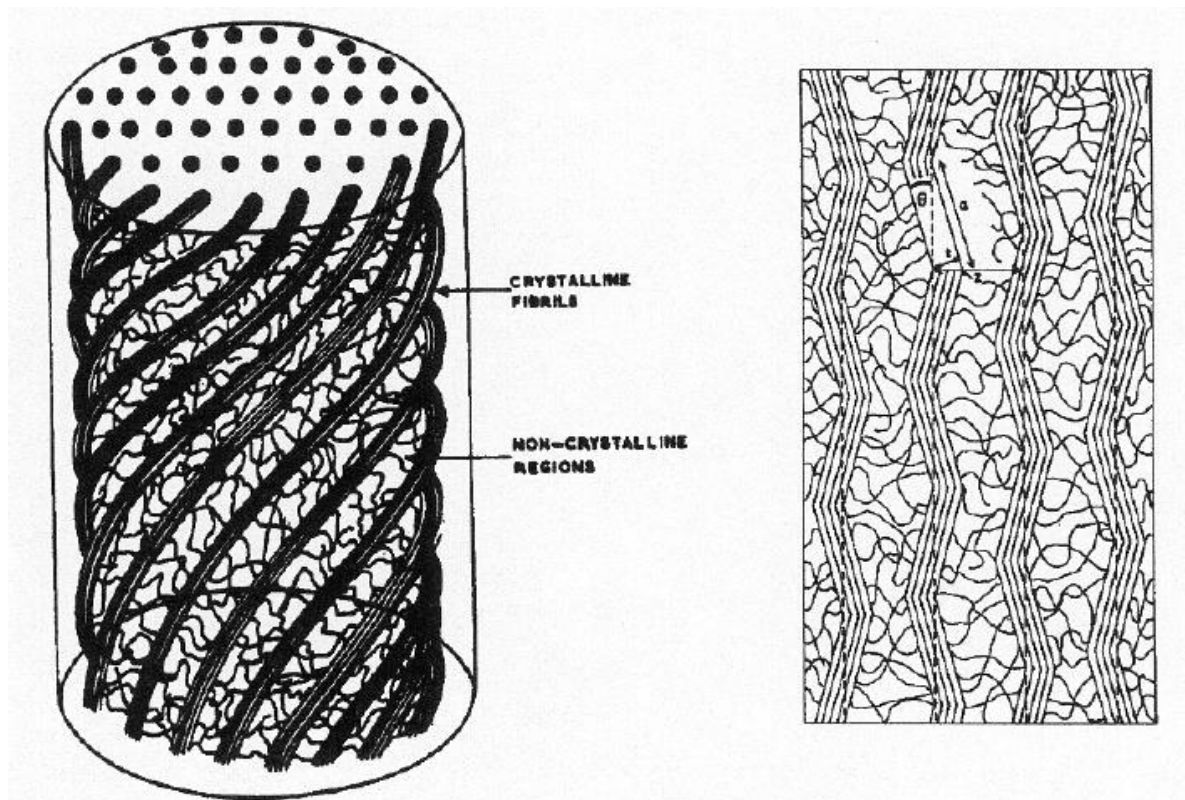


Figure 1.1. : Schématisation des fibres végétales [13]

Caractéristiques Chimiques des Fibres Végétales

Les fibres végétales sont caractérisées par leur composition chimique qui influe énormément sur leur durabilité et spécialement dans les milieux alcalins.

La composition chimique des fibres végétales est formée de trois principaux constituants à savoir : la cellulose, l'hémicellulose et la lignine [13].

1.2 La Cellulose

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

Hémicellulose

L'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres, est un polysaccharide à chaîne courte ramifiée et repliée sur elle-même. C'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres et qui permet aux parois de s'allonger pendant la croissance.

Lignine

La lignine constitue la colle qui lie les fibres végétales entre elles ainsi que leurs parois. C'est un polymère tridimensionnel

Provenant de la copolymérisation de trois alcools phénylpropénoïques

Utilisation des Fibres dans la Construction

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

L'utilisation des fibres végétales dans le renforcement des ciments est relativement récente.

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

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

Tableau 1.6 : Application des divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment [11 ; 12]

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

Conclusion :

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

Médico-économique important. De ce fait, de récentes recherches sont en cours dans le but d'améliorer les propriétés des matériaux renforcés par des fibres végétales, de verre ou de polymère.

La nature des fibres utilisées est en relation avec leurs applications et les modes de mise en œuvre. Le choix des fibres dépend du rôle que l'on désire faire jouer.

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

Actuellement, les types de fibres les plus utilisés dans le renforcement des bétons sont les fibres d'acier. Mais vu le problème de santé que présente les fibres d'amiante et le problème économique que présente la production des fibres d'acier, de verre ou de polymère.

Particulièrement pour les pays en voie de développement qui possèdent une grande richesse en fibres naturelles, l'avenir en terme de renforcement sera attribué aux fibres naturelles, ou bien à la limite pour les fibres composites (polymère-végétales). Ainsi, il est tant d'orienter les axes de recherches vers la valorisation des fibres naturelles dans la construction d'une façon générale et le béton d'une façon particulière.

Quoique l'Algérie soit parmi les pays qui possèdent une multitude des fibres végétales (fibre de palmier, Alfa Abaca, chanvre de coton ...), la valorisation des fibres dans les domaines pratiques n'est pas encore généralisée.

Chapitre 01 :
–Le béton de fibres–

Introduction :

Pour présenter le béton de fibres, nous avons pris le parti de suivre l'itinéraire des matériaux de base que l'on associe pour leurs comportements respectifs transmettant, par un effet synergétique, de nouvelles propriétés au composite créé. Ainsi successivement nous abordons la présentation du matériau de base (les fibres), sa formulation, son comportement et ses propriétés. Ce choix s'impose pour positionner notre étude. En effet, il convient de montrer par une recherche les nombreux paramètres qui influencent le comportement de ce composite dont la matrice est un matériau vieillissant, poreux, retenant l'eau, dont la stabilité est fonction de l'hygrométrie ambiante, présentant un état initial complexe (microfissures, déformations) ; quant aux fibres, elles sont de nature et de géométrie très diverses.

Historique du béton de fibres :

Une analyse profonde de ce concept nous indique que cette idée est très ancienne et date depuis l'antiquité. En effet les pharaons ont pensé à l'idée des pailles pour renforcer la brique de boue d'après Exode 5 :6 comme il est le cas Finlandais utilisant pour la 1^{ère} fois, les fibres d'amiante dans le renforcement des poteries en argile, il y'a de cela 5000 années. D'autres sources ANTOINE, E.N – Mars 1985 et ACI COMMITTEE 554 Mars Avril 1984 ont indiqué que l'usage de cette technique par le biais de pailles afin de renforcer les briques, tandis que les poils des animaux et les fibres pour renforcer le plâtre et la pâte de ciment. On peut noter aussi la réalisation, au milieu du XX^e siècle, d'alliages métalliques avec fibre de carbone.

En 1910, une série d'essais pour améliorer la résistance du béton a été faite par J.PORTER qui a conclu que la présence des fibres courtes dans le béton augmente sa résistance à l'écrasement et à la traction. Par la suite 1911, GRAHAM a établi un brevet sur les bétons de fibres. C'était le premier brevet Américain où il a décrit l'emploi des tranches d'acier comme des renforts fibreux dans les matériaux de construction.

Un deuxième brevet Américain sur ce sujet a été pris par WEAKLY. En 1912, qui consiste à l'utilisation des bandes en fils d'acier fabriquées avec deux fils, avec l'intermédiaire d'un anneau, afin d'assurer une adhérence durable avec le béton. En 1920, A. KLEINLOGEL a déposé le premier brevet Allemand qui a décrit la synthèse d'ajouter un volume relativement important, de particules de fer au béton pour produire une masse capable d'être usinée (par tournage) comme une masse d'acier.

Quelques années après, en 1938, un autre brevet a été établi par N. ZITEVIC en Grande Bretagne. Son procédé consiste à mélanger avec le béton des petits éléments en fer approximativement avec 100 mm de long et 1.00 mm de diamètre. Ces éléments métalliques sont très semblables aux fibres utilisées aujourd'hui pour armer le béton. Il a conclu qu'il y a une amélioration de la résistance du béton à la compression, à la traction et au cisaillement.

A partir de 1940, plusieurs procédés sont apparus dans de différents pays. Ces procédés recommandent en général l'inclusion des fibres d'acier dans le béton pour améliorer sa performance. Mais on note ici que celui de G.CONSTANTINESCO, en 1943 en Angleterre et en 1954 en U.S.A, mérite une attention particulière. A partir des années 1970, il s'est produit une sorte de réveil dans le domaine de la technologie des bétons renforcés de fibres d'acier.

La confiance acquise dans certaines propriétés spécifiques des bétons renforcés de fibres d'acier augmente de façon permanente par l'utilisation de ces bétons dans des applications industrielles.

Le premier article dans ce concept peut être attribué à LANKARD et SHEETS. Dans cet article, ils ont confirmé que l'ajout de 1% à 2% de fibres au béton réfractaire donne une amélioration significative à sa résistance.

Il existe de nombreux de fibre qu'on peut regrouper en deux catégories selon leurs propriétés mécaniques ; les fibres organiques et les fibres non organiques.

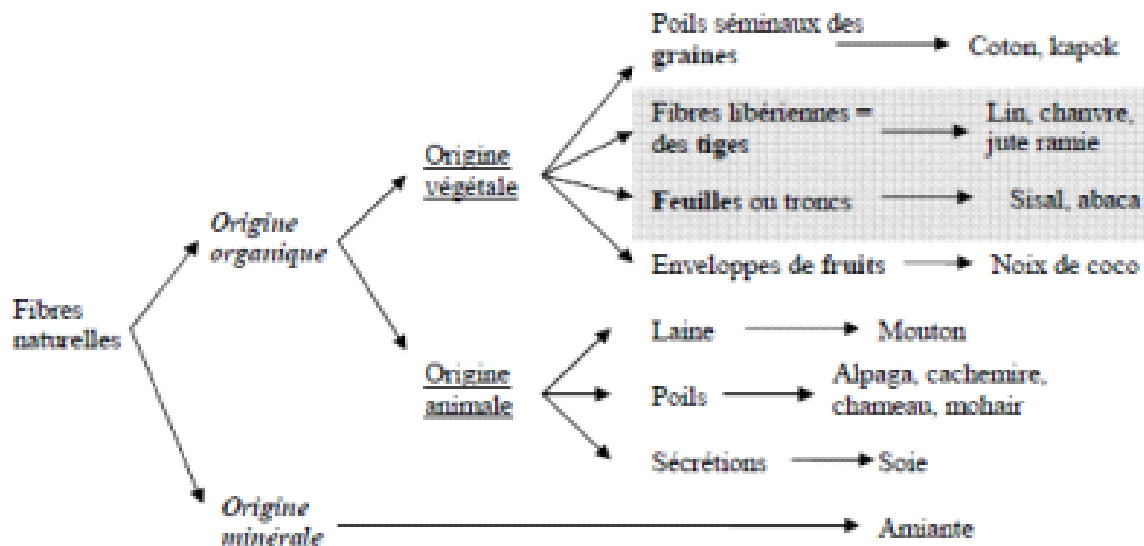


Figure2.1 : Les catégories de fibres végétales

Les fibres :

Les fibres sont définies comme des éléments discontinus, de nature variable, des formes sensiblement cylindriques, d'un diamètre et longueur variable. Elles sont réparties dans la matrice soit d'une façon aléatoire ou orientation préférentielle. Généralement les fibres sont aussi utilisées pour définir le constituant élémentaire des structures textiles. Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte, de 20 à 150 mm, et la fibre de grande longueur ou filament continu. Il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par leur origine (naturelles, artificielles et synthétiques), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leur dimension (macro ou micro - fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour des applications, il est nécessaire de tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et la mode de performance du composite [14].

Les types des fibres

On retrouve sur le marché plusieurs types de fibres, elles peuvent être classées par familles, un choix approprié du type de fibre à utiliser est essentiel. Chaque type de fibre possède des caractéristiques particulières qui les rendent apte à servir à une utilisation plutôt qu'à une autre. Ainsi l'adoption d'une fibre influencera les facteurs suivants :

- Densité,
- Résistance tension et en compression,
- Résistance aux impacts et à la fatigue

- , Module d'élasticité,
- Conductivités thermique et électrique,
- Stabilité dimensionnelle,
- Résistance aux conditions environnementales,
- Coût,

Les différentes fibres actuellement disponibles peuvent être classées selon leur origine en :

- Fibres naturelles minérales et végétales : amiante, cellulose
- Fibres synthétiques d'origine minérale : verre, carbone, fibres métalliques
- Fibres synthétiques organique : polyamides, polypropylène, acrylique, kevlar, aramide

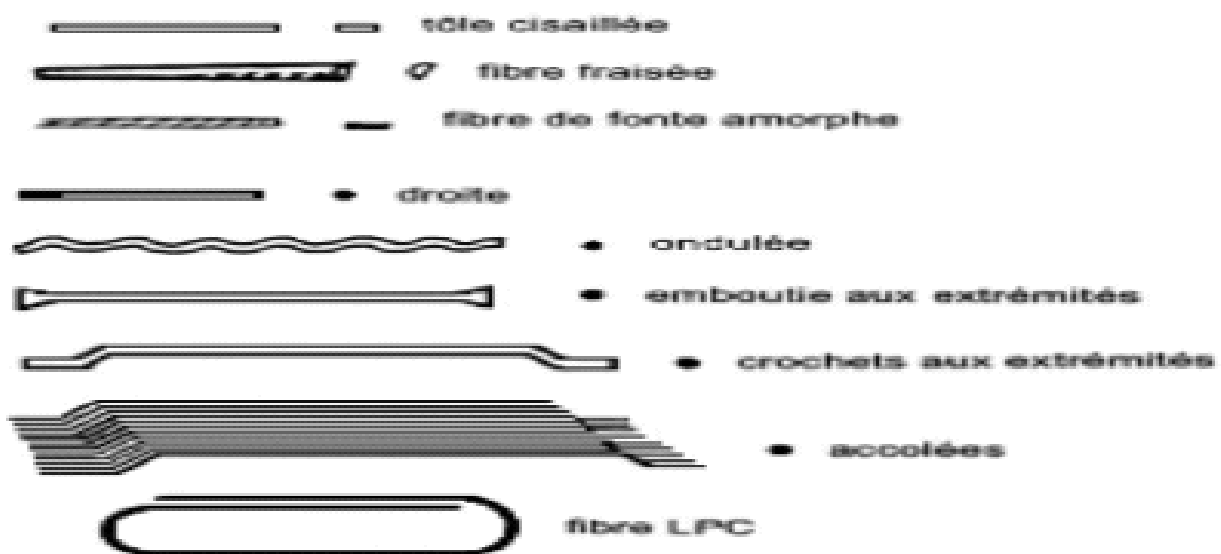















Figure 2.2 : Différentes formes de fibres

Tableau 2.1 : Les propriétés géométriques et mécaniques des différentes fibres

NATURE DE LA FIBRE		FORME DE LA FIBRE	COUPE DE LA FIBRE	LONGUEUR DES FIBRES (mm)	ÉLANCEMENT L_e/D ou L_e/e	MASSE VOLUMIQUE (g/cm ³)	RÉSISTANCE EN TRACTION (MPa)	MODULE D'ÉLASTICITÉ (MPa)	COEFF. DE DILATATION $\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$
FIBRES COURTES DISPERSÉES									
Acier	Raté irrégulier	 $D = 0,45 \pm 0,04 \text{ mm}$		25-35	25-55	7,8	2 500	200 000	11
		 $e = 0,30 \text{ mm}$		15-32	-				
	Formes particulières	 $e = 0,25 \pm 0,50 \text{ mm}$		6-30	-				
									
		 $D = 0,40 \pm 0,60 \text{ mm}$		30-60	-				
Fonte amorphe		 $e = 25 \mu\text{m}$		30-60	1 200-1 400	7,2	2 000	140 000	10
Amoré		 $D = 0,2 \pm 0,1 \text{ mm}$	\emptyset	5	250-2 500	2,6	800	100 000	10
Cellulose		variable				0,6 à 0,8			
Polypyrène		 $D = 15 \pm 250 \mu\text{m}$	\emptyset	10-30	140-1 700	0,9	500	5 000	80
Vere		 $D = 5 \pm 20 \mu\text{m}$	\emptyset	10-20		2,0	1 000	30 000	8
Carbone		 $D = 7 \pm 20 \mu\text{m}$	\emptyset	3-15	150-400	2,0	2 000	400 000	1
Aramide		 $D = 12,4 \mu\text{m}$	\emptyset	1-10	100-600	1,2	1 000	15 000	80

Fabrication de béton de fibres

Avant de mélanger le béton, la longueur des fibres, leur quantité et la composition du mélange sont choisies pour éviter la formation de boules de fibres. Dans les mélanges renforcés, le mortier occupe d'habitude environ 70 % du volume, contre 50 % pour les mélanges de béton courants, non renforcés de fibres. Les panneaux en ciment renforcé de fibres ne contiennent pas de granulats grossiers. Ces produits sont généralement réalisés en projetant simultanément le mortier et les fibres hachées. Un mortier ayant un rapport eau/ciment élevé facilite la projection. Il existe d'autres méthodes de fabrication, dont le coulage, moins universel que la projection, et le moulage sous pression, où le rapport eau/ciment moins élevé permet d'obtenir un

produit plus résistant. Des adjuvants chimiques sont ajoutés au mélange de béton renforcé de fibres, notamment pour augmenter son ouvrabilité.

En Amérique du Nord, les entraîneurs d'air et les réducteurs d'eau sont ordinairement additionnés aux mélanges qui contiennent une proportion de 50 % ou plus de granulats très fins. Les super plastifiants incorporés à des bétons renforcés de fibres peuvent abaisser le rapport eau/ciment et améliorer la résistance, la stabilité volumétrique et l'ouvrabilité des mélanges frais.

Propriétés du matériau composite (béton de fibre) :

Les fibres peuvent améliorer la ténacité, la résistance en flexion ou les deux, et sont choisies en fonction de leur disponibilité, de leur coût et de leurs propriétés. Par exemple, les fibres de polypropylène augmentent nettement la ténacité du béton mais ont peu d'effet sur sa résistance en traction. Par contre, les mélanges de fibres de polypropylène et de verre donnent un béton de grande résistance en flexion et très tenace

Tableau 2.2 : Ténacité des matériaux à base de ciment renforcés de fibres par rapport à des matériaux non renforcés

Matériau composite	Volume de fibres en pourcentage (%)	Ténacité p/r aux produits non renforcés*
BÉTON		
acier	0,5	2,5-4,0
acier	1,0	4,0-5,5
acier	1,5	10-25
verre	1,0	1,7-2,0
polypropylène	0,5	1,5-2,0
polypropylène	1,0	2,0-3,5
polypropylène	1,5	3,5-15,0
nylon	1,0	1,5-1,7
MORTIER		
acier	1,3	15,0
amiante	3-10	1,0-1,5
PÂTE DE CIMENT		
verre	4,5	2,0-3,0
particules de mica	2,0-3,0	3,0-3,5
* Ces valeurs sont des valeurs types seulement et peuvent varier selon la méthode d'essai, le procédé ou le mélange.		

Comportement mécanique des bétons de fibres

- Effet des fibres dans une matrice :

1. Rôles des fibres dans le béton Dans les premières études, les chercheurs ont essayé, par l'incorporation de fibres dans le béton, d'augmenter ses caractéristiques mécaniques comme la résistance à la compression ou la résistance à la flexion, mais les résultats obtenus n'étaient pas ceux escomptés

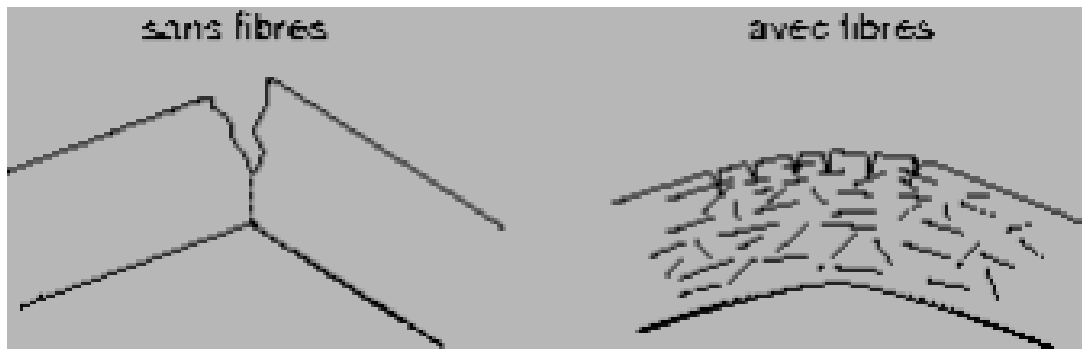


Figure 2.3 : Fissuration dans le béton sans et avec fibres

Il est à noter que le rôle principal des fibres dans un matériau peut-être lié à deux points essentiels : le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures,

La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes

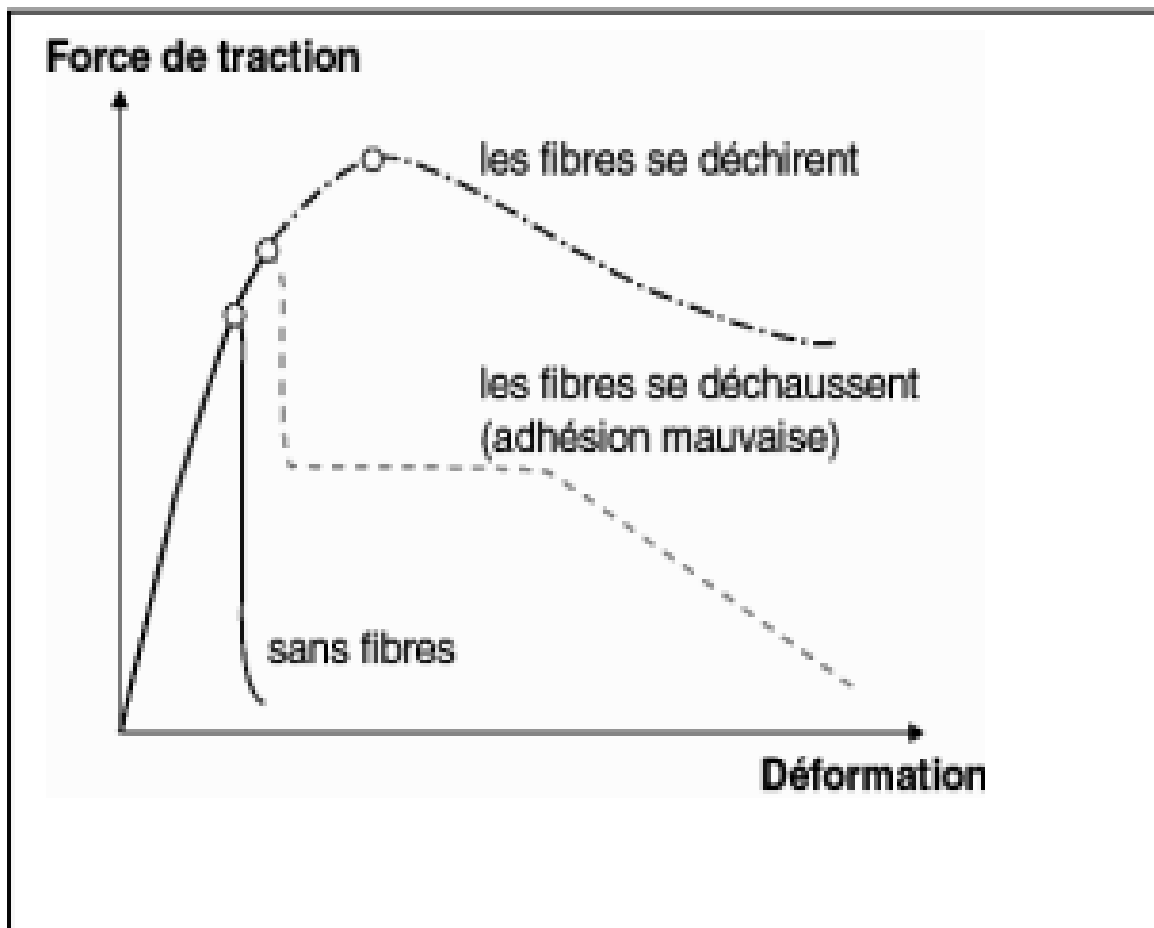


Figure 2.4 : comportement de charge-déformation de béton avec fibres et béton sans fibres

2. La taille et la rugosité des granulats :

La dimension des granulats est très importante pour avoir un bon béton résistant et maniable car avec une présence d'une certaine quantité de gros grains, le béton peut avoir une mauvaise ouvrabilité. Les B.R.F sont composés, en plus des gros granulats, d'une quantité de fibres, qui en entrant en contact avec ceux-ci tend à figer leur mouvement, fait qui se répercute principalement sur la maniabilité.

Les multiples travaux de recherche montrent que la mise en œuvre des B.F.M. est souvent difficile et a toujours posé de problème. Ainsi pour faciliter cette mise en œuvre, la composition du béton ne doit en aucun cas contenir des éléments dont la taille est supérieure au quart de la longueur de la fibre (une dimension maximale d'environ 8 à 15mm), c'est la raison qui fait que les bétons de sable se révèlent compatibles à l'inclusion des fibres .

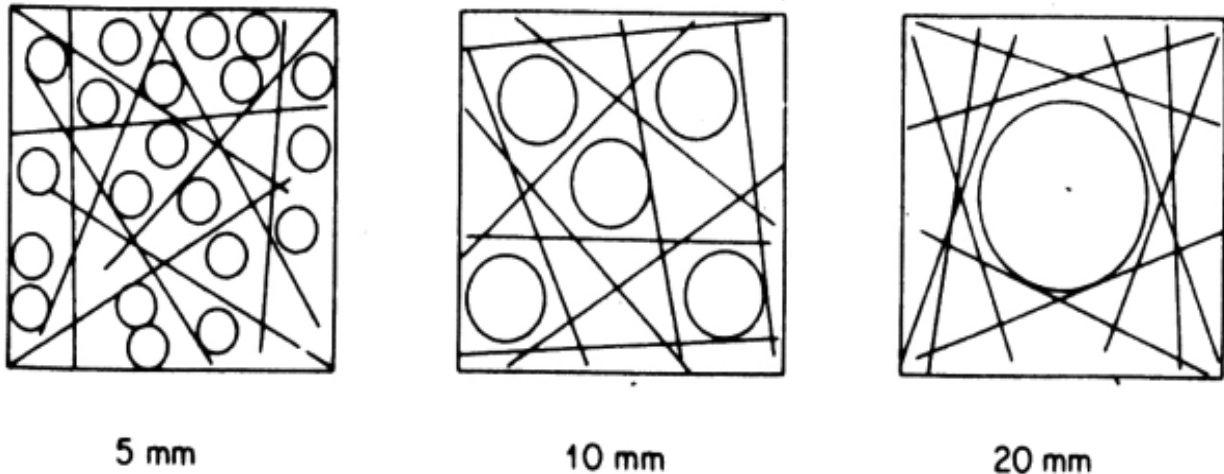


Figure 2.5 : Effet de la taille d'agrégat sur la distribution des fibres dans un carré avec une longueur égale à la longueur d'une fibre.

3. Influence de l'adhérence fibres matrice L'adhérence fibres–matrice est un facteur très important vis-à-vis de l'efficacité des fibres dans la matrice.

D'après Bartos (1981), l'adhérence entre fibres et matrice est assurée par trois liaisons :

- une liaison élastique,
- une liaison de frottement,
- une liaison créée par un ancrage mécanique dans le cas des fibres non rectilignes (crochets ondulation dentelles)

Des essais d'arrachement effectués par Eurosteel sur les fibres ondulées (1982) montrent que la résistance d'adhérence dépend de la teneur en ciment dans la matrice. Il existe une teneur en ciment voisine de 400 à 500 Kg/m²

4. Influence de la géométrie de la fibre Plusieurs types de fibres ont fait l'objet de beaucoup de recherches, mais il est prouvé que les seuls types de fibres susceptibles d'augmenter la résistance à la traction du béton, par la transmission d'une palpable énergie de plastification et de rupture, sont celles dotées d'un système d'ancrage.

Les deux prérogatives qui en découlent sont :

- a) En se plastifiant, l'ondulation diffuse, dans le béton, une énergie capable de multiplier par 2.5 celle de la rupture en traction de la fibre.
- b) Contrairement aux autres types de fibres, celles ondulées sont capables de s'agripper au béton.

En effet, l'existence d'ondulations le long de ces fibres créent des réactions de butées et s'opposent par le fait au déchaussement de ces fibres

Conclusion

La fonction principale des fibres dans le béton est de réduire l'ouverture et la propagation des fissures en état de service et de transformer le comportement fragile du béton en un comportement ductile (accroît la sécurité aux ELU).

Chapitre 02 :

–Généralités sur les fibres végétales–

Introduction

Les fibres végétales sont utilisées par l'Homme depuis très longtemps pour différents usages et pour la construction en particulier. Dans le cadre de développement durable, leur utilisation va très probablement croître et ce pour plusieurs raisons : Les fibres végétales constituent une ressource renouvelable, leur production ne nécessite pas une haute technologie et peut avoir lieu dans les pays en voie de développement. Par ailleurs, si l'on tient compte du transport, leur prix est généralement équivalent à celui des fibres artificielles. Comme le kénaf, le jute, la ramie, et surtout le chanvre (filasse) et le lin, qui peuvent dans certains cas se substituer à la fibre de verre. L'utilisation des fibres de filasse comme renforts de matrices cimentaire semble beaucoup moins étudiés bien que ces fibres soient parmi les plus disponibles à travers le monde et qu'elles présentent de bonnes performances mécaniques. Nous présentons dans ce chapitre une synthèse bibliographique sur les principaux concertes de la fibre avec ses enjeux et ses différents stratégies de mise en application

Définition de la fibre végétale

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. En proportion relativement faible d'extractibles non azoté, de matière protéique brute, de lipide et de matières minérales. Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante [17].

Classification des fibres végétales

Il existe plusieurs critères de différenciation des fibres :

- suivant l'organe de la plante dont elles sont issues, les fibres végétales peuvent être classées en fibres de tiges (Kénaf, jute, lin, ramie), et de feuilles (Sisal, abace, paille de graminée) [18].
- Suivant leur teneur en holocellulose (cellulose et hémicellulose) et en Lignine, on peut distinguer les fibres ligneuses (dures et rigide provenant de matériels ligneux tels que le bois d'œuvre,

Les résidus de l'industrie du bois et les fibres non ligneuses (douces, souples, issues de végétaux non ligneux souvent annuels relativement moins riches en lignine tels que le kénaf, le chanvre, le sisal, le jute et le lin) [17]

- Suivant leur longueur, les fibres végétales peuvent être groupées en deux catégories : fibres longues, dites libériennes, provenant des tiges et d'écorce de tiges de plantes annuelles. Elles sont douces, tandis que les fibres longues issues de feuilles ou de troncs d'arbre sont plus dures et plus rigides à cause de leur richesse en lignine. et fibres courtes ou étoupes qui sont associées aux fibres longues [18]

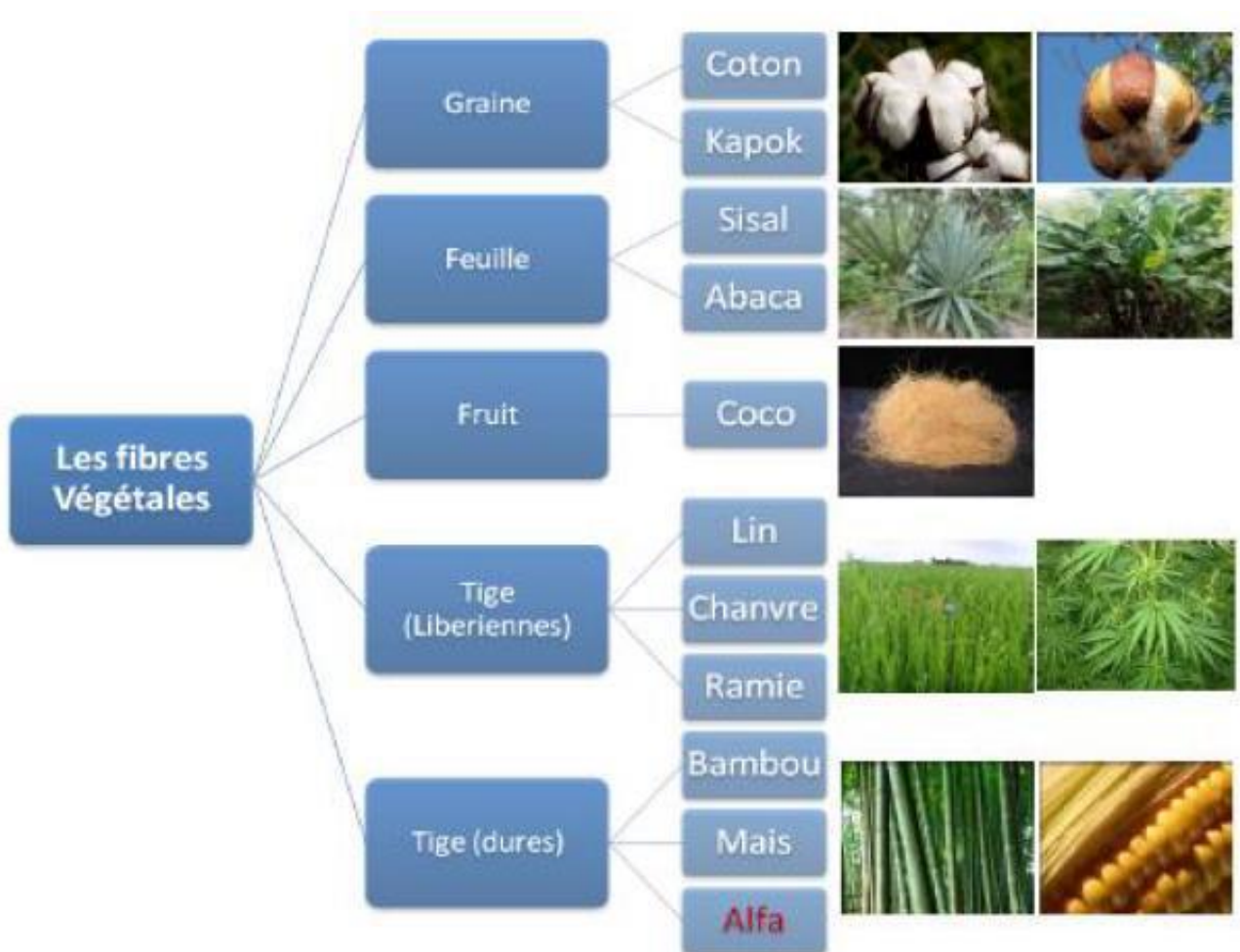


Figure 3.1 : les catégories des fibres végétales

Morphologie de la fibre végétale

Sur le plan morphologique, la fibre végétale présente une variabilité très importante en fonction de son origine.

En effet, les dimensions des fibres végétales dépendent de l'état de maturité et aussi des conditions environnementales de croissance de la plante. La variabilité du diamètre peut être très importante le long de la même fibre végétale) [19]

La fibre végétale se caractérise aussi par la variabilité de l'épaisseur de sa paroi cellulaire qui découle de celle de la porosité des fibrilles [20]

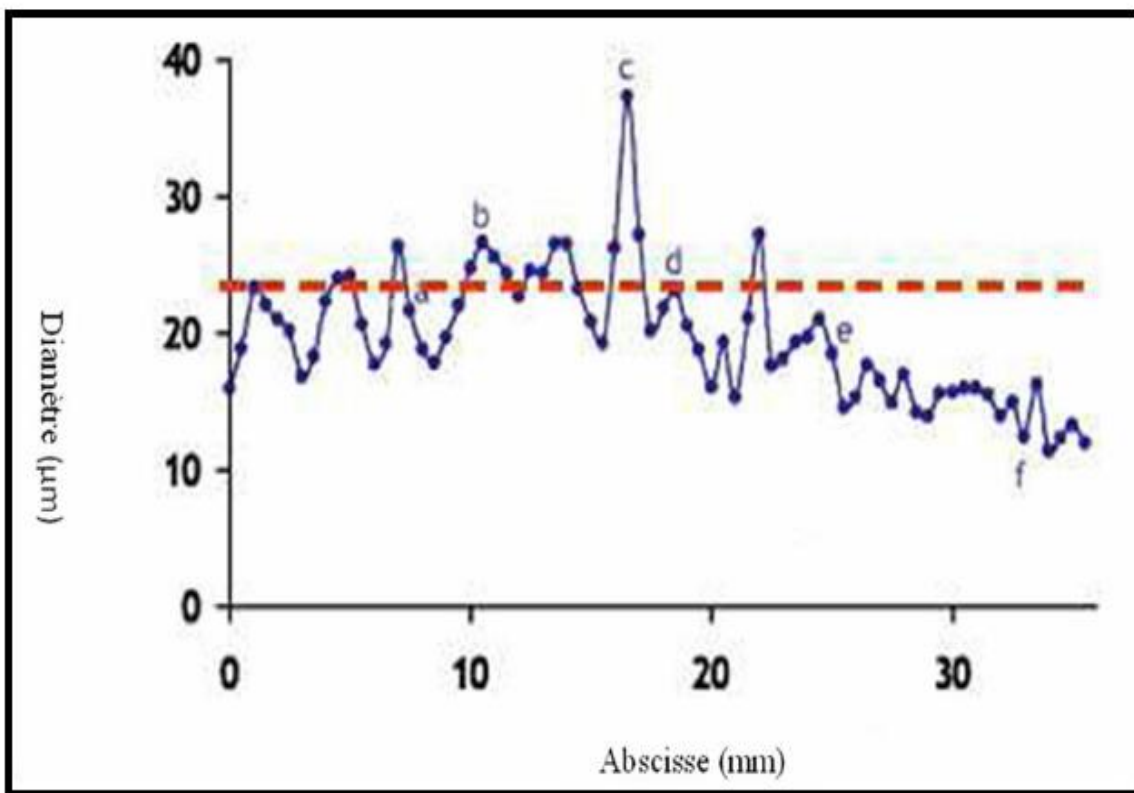


Figure 3.2 : Variation du diamètre le long de la fibre de lin [7]

Tableau 3.1 : Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales

Fibres	Longueur de la fibre (mm)	Diamètre de la fibre (μm)	Angle micro fibrillaire (°)	Référence
Cotton	35	10-45	-	SAT 09
Lin	4-77	5-76	10	CHA 06
Chanvre	5-55	10-51	6.2	NEN 09
Kénaf	2.5-4.5	14-33	-	MIC 03
Jute	2.5	5-25	8	MIC 03
Sisal	900	8-50	20	SAT 09
Rami	900-1200	20-80	7.5	SAT 09
Noix de coco	03-1	12-24	45	CHA 06

La morphologie des fibres végétales peut constituer une donnée importante pour bien appréhender les transferts de contrainte aux interfaces fibre–matrice.

Présente à titre d'exemple la structure torsadée d'une fibre de coton. D'autres fibres ont des morphologies, encore plus tourmentées. La géométrie des fibres végétales est donc un problème important et difficilement surmontable pour ce qui concerne la micromécanique des composites renforcée par de telles fibres [21]

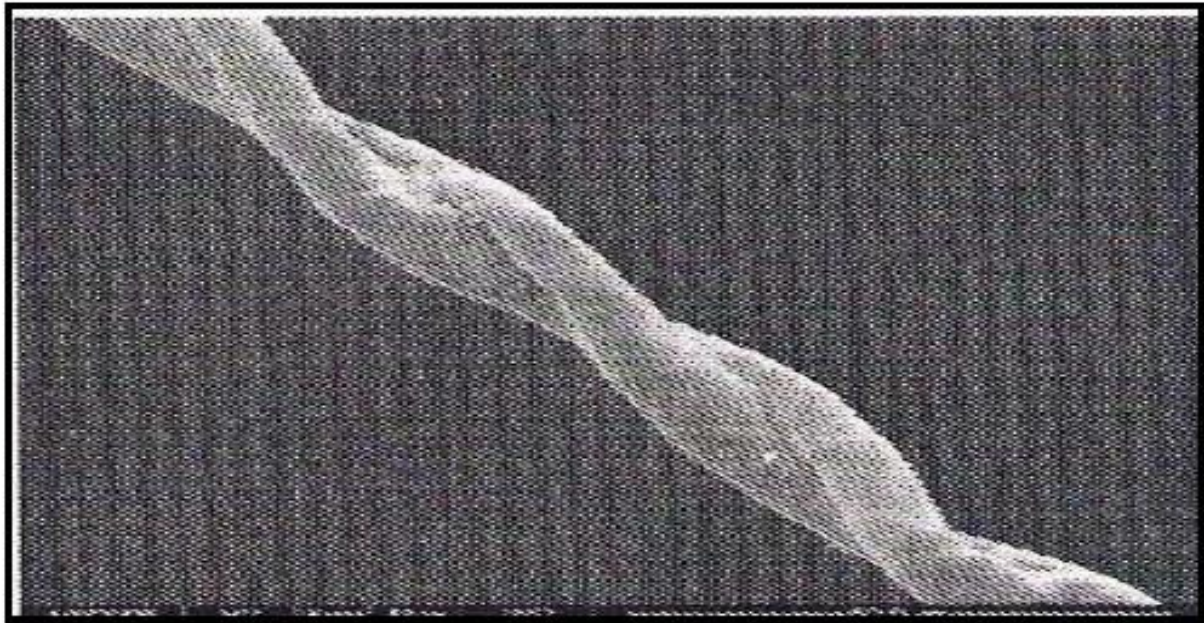


Figure 3.3 : Photographie en microscopie électronique à balayage d'une fibre de coton [21]

Propriétés écologiques des fibres végétales :

La fibre végétale est naturelle et ne cause pas d'irritation pour la peau.

Plus de confort pendant la manipulation et renouvelables.

Structure de la fibre végétale

La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de microfibre cellulosiques en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d'une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaison hydrogène et covalentes à la lignine [22].

La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et disposée en couche superposée dans le sens radiale. Ces différentes couches qui forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire.

Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l'espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches de micro fibrilles (S1, S2, S3).

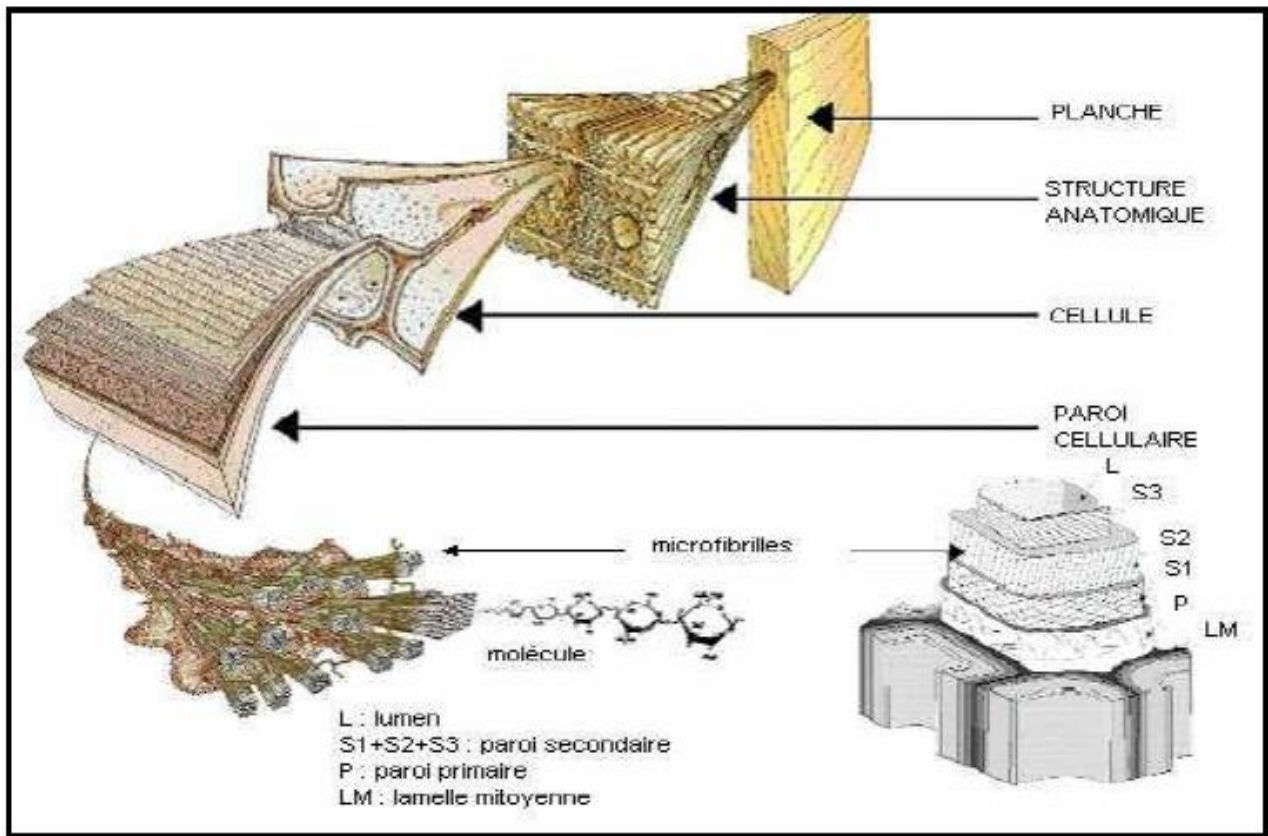


Figure 3.4 : Structure du bois (observations multi échelles) [17]

Les microfibrilles décrivent par rapport à l'axe de la fibre, un angle microfibrillaire (MAF) dont la valeur varie d'une espèce à l'autre. L'orientation des microfibrilles par rapport à l'axe de la cellule joue un grand rôle dans les propriétés mécaniques des parois des fibres, plus que l'angle des microfibrilles augmente, le module de Young (une mesure de la rigidité) décroît, tandis que l'extensibilité des parois augmente [23]

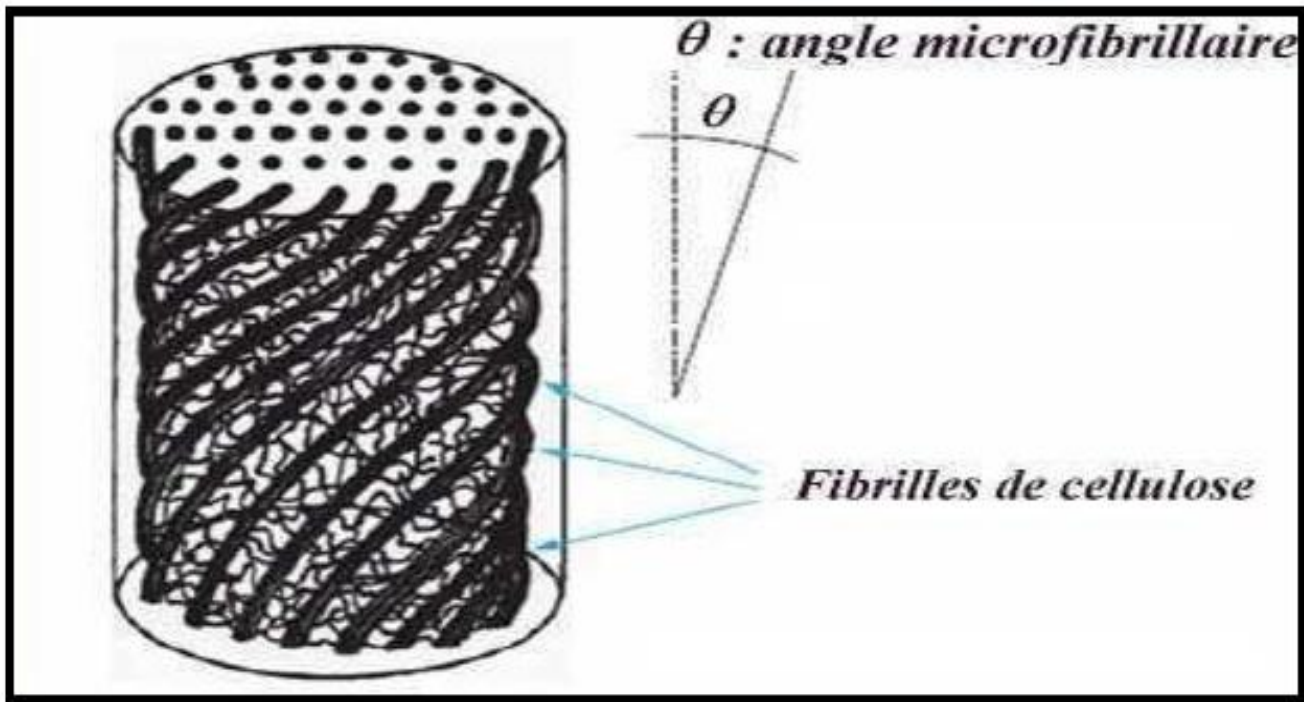


Figure 3.5 : Modèle de description de la structure d'une fibre végétale [22]

Composition chimique des fibres végétales :

La biomasse végétale est constituée de plusieurs macromolécules étroitement liées entre elles au sein de la paroi végétale.

Comme nous l'avons vu précédemment les composées les plus majoritaire sont la cellulose, l'hémicellulose les pectines et les lignines. Ces différents constituants sont agencés de manière très complexe

Dans le bois, la cellulose est concentrée à l'intérieur de la fibre (Fig. 6). Les parois extérieures de la fibre sont composées principalement de lignines et d'hémicelluloses et les lamelles de jonction inter fibres sont composées presque uniquement de lignine. Un réseau supplémentaire de pectines (polymères de polysaccharides acides) augmente la complexité de la matrice. Le réseau polysaccharidique peut également être solidifié par un réseau secondaire de protéines HRGP (Hydroxy proline Riche Glycol Protéines).

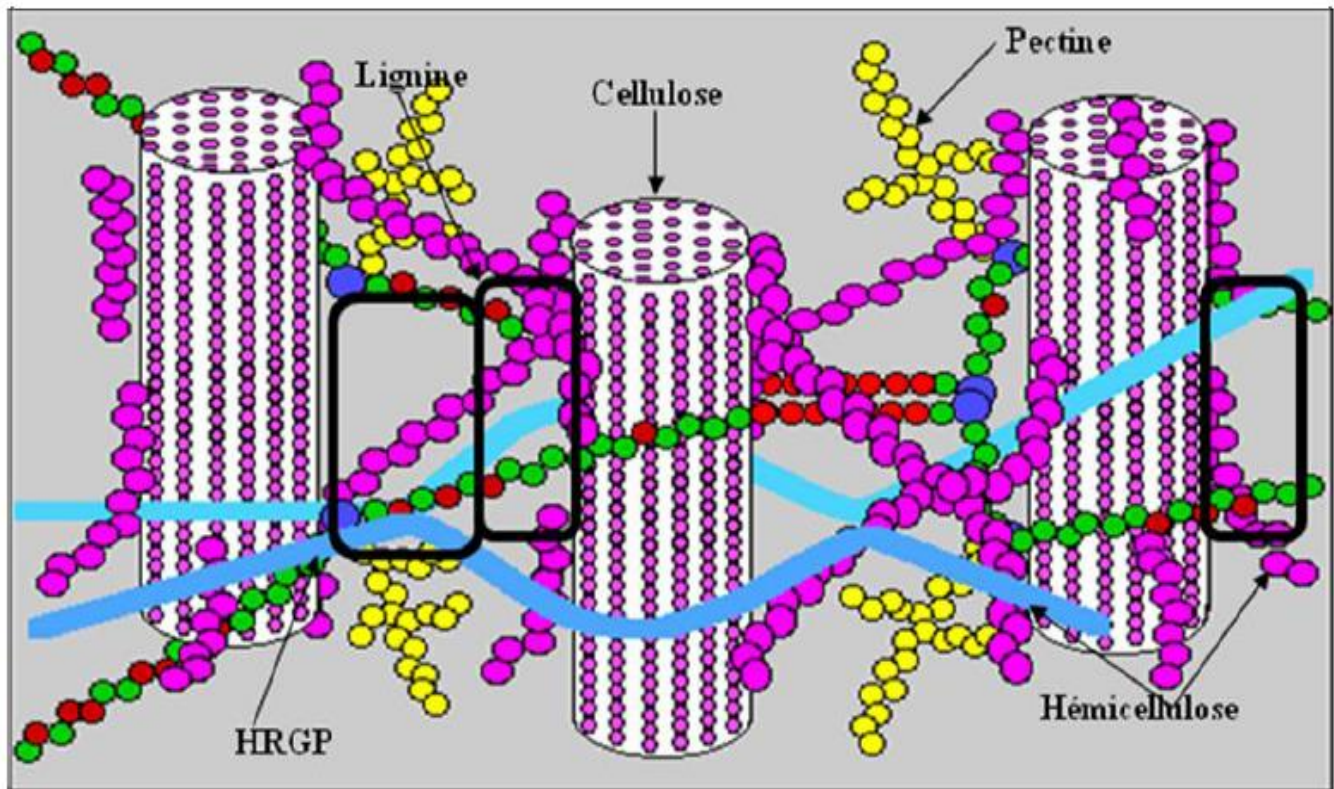


Figure 3.6 : Représentation schématique d'une fibre de bois [24]

Propriétés mécaniques de la fibre végétale

Il est très difficile de présenter un tableau qui répertorie toutes les propriétés des fibres lignocellulosiques. La grande variabilité constitutive et anatomique de la fibre végétale implique une variabilité de leurs propriétés mécaniques.

La faiblesse de la masse volumique des fibres végétales (1,2 à 1,5 g/cm³) confère à ces matériaux des propriétés mécaniques spécifiques intéressantes. Les fibres longues ont des contraintes en traction plus faibles que les fibres courtes, du fait que les premières ont de plus grandes probabilités de contenir des défauts de formation.

La cellulose cristalline est l'un des polymères ayant un module d'élasticité relativement plus élevé (90–137 Gpa), comparé à celui de la fibre de verre qui est de 75 Gp. Ainsi un index de cristallinité de la cellulose d'une fibre élevé est indicateur de propriétés mécaniques élevées. Les fréquents défauts structuraux (Fig. 7) observés de la surface des fibres sont des conséquences de la grande variabilité de morphologie, de

composition chimique, de structure et de comportement mécanique spécifique de ces fibres.

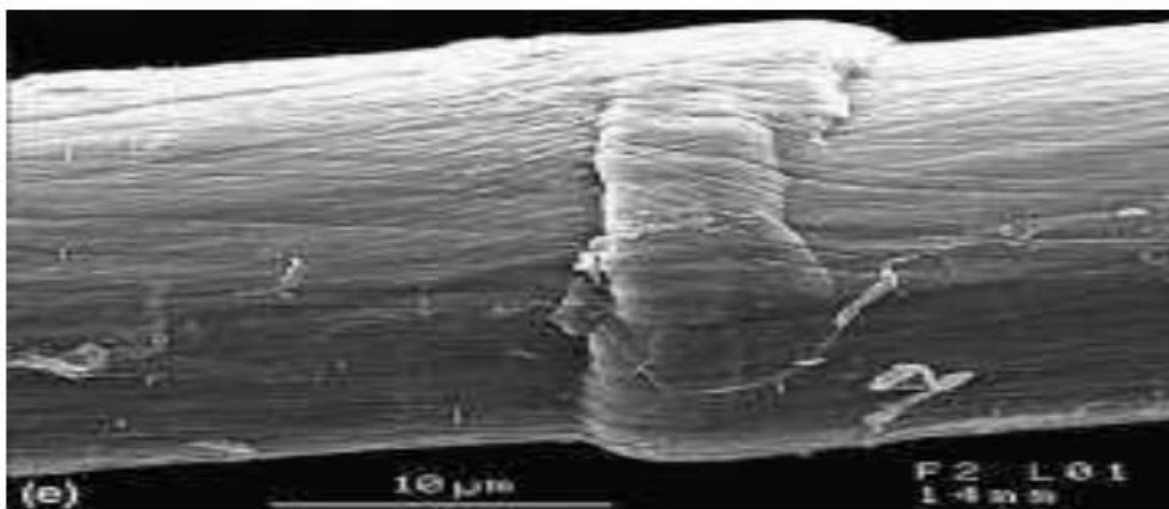


Figure 3.7 : Exemple de défaut structural sur une fibre de lin [19]

L'angle micro fibrillaire explique en partie la déformation élastique de la fibre végétale et dès lors son allongement à la rupture en traction. En effet, sous l'action de forces de traction relativement faibles, la fibre lignocellulosique subit une déformation réversible du fait de l'alignement progressif des micros fibrilles celluloses avec l'axe de la fibre et une déformation élasto-viscoplastique des polymères amorphes [19].

Si la sollicitation de la fibre est plus forte, la déformation de celle-ci entre dans une phase irréversible qui peut se poursuivre jusqu'à la rupture. Un angle micro fibrillaire élevé suppose une déformation élastique plus importante pour une sollicitation de la fibre en traction faible [25].

L'utilisation des fibres végétales dans le domaine de génie civil :

L'application des fibres dans le domaine de la construction est :

- 1) Industrie des panneaux isolants
- 2) Industrie de la construction
- 3) Industrie des revêtements
- 4) Fabrication de peintures à base d'huiles végétales pour améliorer la durabilité

Conclusion

Nos travaux visent à valoriser l'utilisation d'un matériau de l'industrie local en prenant en compte les exigences du contexte environnemental actuel et l'abondance des produits locaux (la fibre d'Alfa) dans le but de confectionner un béton, nommé béton de fibres végétales.

Chapitre IV

–Caractérisation des matériaux utilisés–

IV.1 Introduction :

Le béton est un matériau de construction, composé de ciment, gravier, sable, d'eau et éventuellement d'adjuvant pour améliorer certaines de ses propriétés. Dans ce chapitre, on s'intéresse à présenter les propriétés des matériaux utilisés dans la confection du béton à base des fibres végétales d'Alfa. Ces matériaux seront identifiés par une série d'essais physiques et mécaniques effectués au laboratoire de matériaux de construction « MDC », à l'université Dr Moulay Tahar de Saïda.

IV.2 Caractéristiques des matériaux utilisés :

IV.2.1 Les fibres :

Les Caractéristiques des fibres d'Alfa sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau IV.1 : Caractéristiques des fibres d'Alfa

Caractéristiques des fibres d'Alfa	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Densité (g/cm³)
Valeurs	1 à 2	10 à 20	1.40

IV.2.2 Le ciment :

Le ciment utilisé est un portland au calcaire NA4442 CEM II/B-L 42.5 N en provenance de la cimenterie de Saïda, Les analyses physiques et mécaniques du ciment sont représentées sur la fiche technique à l'annexe 1



Figure IV.1 : le ciment

IV.2.3 L'eau de gâchage :

C'est l'eau de robinet de laboratoire des matériaux de construction de l'université de Saida, L'analyse chimique de l'eau a été effectuée au laboratoire de traitement des eaux de Saida, l'analyse montre que la potabilité chimiques est de bonne à passable



Figure IV.2 : L'eau de gâchage

IV.2.4 Granulats (Sable et gravier) :

Les granulats, Sable 0/3 et Gravier 3/8 ; 8/15 utilisés dans cette étude proviennent de la carrière de Saida. Les caractéristiques de chaque classe granulaire conformément aux normes

IV.2.5 Description de l'adjuvant utilisé :

L'adjuvant utilisé est un superplastifiant à base de poly-carboxylates de nouvelle génération, qui permettent de réaliser des bétons très fluides avec des rapports E/C très réduits.

Il est compatible avec tous les types de ciment.

Par son action dispersante et la bonne synergie de ses composants, il confère au béton un maintien prolongé de l'ouvrabilité avec des bonnes caractéristiques de compacité et de résistances mécaniques.

IV.2.5.1 Propriétés chimiques et physiques :

Etat physique:.... .Liquide

Couleur:.. .Brun

Densité (g/cm³, à 20°C) :.. .1.13(±0,03)

PH (20°C) :. ..5,5(±1)

Extrait sec:..... .38%(±2%)

Teneur en chlorures :. ≤0.1%

IV.2.5.2 Domaines d'application

- Bétons transportés sur de longues distances.
- Bétons de fondations (parois moulés, pieux...).
- Bétons pompés.
- Bétons de Génie- Civil (ouvrages d'art, tunnels).
- Béton prêt à l'emploi.

IV.2.5.3 CONDITIONNEMENT

- Bidon de 20 Litres.
- Fût de 216 Litres.

IV.2.5.4 VALIDITE

12 mois dans son emballage hermétiquement fermé, stocké entre 5°C et 35°C et à l'abri du soleil.

IV.3 Les essais physiques :

1. Analyse granulométrique
2. Les masses volumiques (apparent ; absolue).
3. équivalent de sable

IV.3.1 Classification des sables :

Suivent leur provenance :

Sable de rivière : absence de grains fins.

Sable de dune : prédominance de grain fin.

Sable de carrière ou de concassage : composition variable.

Suivent la valeur du module de finesse On peut classer les sables comme suit :

Tableau IV.2 : Classification des sables suivant la valeur de module de finesse

Sable	Module de finesse (MI)	Refus cumul sur les tamis
Gros	3.4à 2.4	50à75
Moyen	2.5à 1.9	35à 50
Fin	2à 1.5	20à35

IV.3.2 caractéristiques physiques de sable :

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de Saida, suivant les normes françaises AFNOR.

IV.3.2.1 Masse volumique (absolue) : NF P18-555

C'est la masse de l'unité de volume de substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

Mode opératoire :

On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide du récipient de capacité 1000ml. On prend 03 échantillons de masse 300g.

On place l'échantillon dans le récipient de capacité 1000 ml et on y verse 300 ml d'eau préparé préalablement dans 2ème récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le

contenu pour chasser l'air qui y existe. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable-eau. Soit (V) ce volume.

Sachant que le volume (V_e) d'eau versé est 300 ml, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul. Volume de sable : V₁=V-300(ml)

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule :

$$P_s = M/V_1$$

$$M = 300g$$

Tableau IV.3 : La masse volumique absolue de sable

Essais	M(g)	V (cm ³)	V ₁ (cm ³)	p (g/cm ³)	P _{moy} (g/cm ³)
1	300	470	170	1.76	1.87
2	300	450	150	2	
3	300	460	160	1.87	

Tableau IV.4 : Résultats des masses volumiques des gravillons

Graviers	Masse volumique absolue (g/cm ³)	Masse volumique apparente (g/cm ³)
3/8	2.62	1.383
8/15	2.65	1.399

IV.3.2.2 Masse volumique apparente :

1) Masse volumique à l'état lâche :

C'est la masse par unité de volume y compris des vides existant entre les grains.

Mode opératoire :

On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 2 à 2.51 litres.

On emplit l'entonnoir avec du sable sec.

On pèse le récipient vide de capacité de 0.91, soit M1 ce poids.

On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15cm, et on le remplit avec du sable.

On nivelle la surface du sable et on pèse le tout, soit M2 ce poids.

2) La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\gamma_{app} = (M2 - M1) / V_r \quad (V_r = \text{volume de récipient})$$

Tableau IV.5 : La masse volumique apparente à l'état lâche

Essais	M1(g)	M2(g)	$\gamma_{app} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	$\gamma_{moy} \text{ (g/cm}^3\text{)}$
1	80.5	1310	1.229	1.251
2	80.5	1340	1.259	
3	80.5	1348	1.267	

IV.3.2.3 Masse volumique apparente du gravier :

Tableau IV.6 : Gravier 3/8

Essais	M1(g)	M2(g)	$\gamma_{app} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	$\gamma_{moy} \text{ (g/cm}^3\text{)}$
1	327	1712.8	1.385	1.383
2	327	1711.2	1.384	
3	327	1709.5	1.382	

Tableau IV.7 : gravier 8/15 :

Essais	M1(g)	M2(g)	$\gamma_{app} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	$\gamma_{moy} \text{ (g/cm}^3\text{)}$
1	327	1725.5	1.398	1.399
2	327	1724.4	1.397	

3	327	1730.5	1.403	
---	-----	--------	-------	--

IV.3.2.4 Masse volumique à l'état compact :

C'est la masse du matériau par unité de volume après compactage compris les vides restant entre les grains, elle est souvent supérieure à la masse volumique à l'état lâche.

Cet essai consiste à plonger un poids défini de. Sable dans une éprouvette normalisée remplie par une solution flocculant ; après agitation, on laisse décanter le mélange pendant 20minutes, ensuite on mesure la hauteur du sédiment + flocculant (h_1) et du sédiment (h_2).

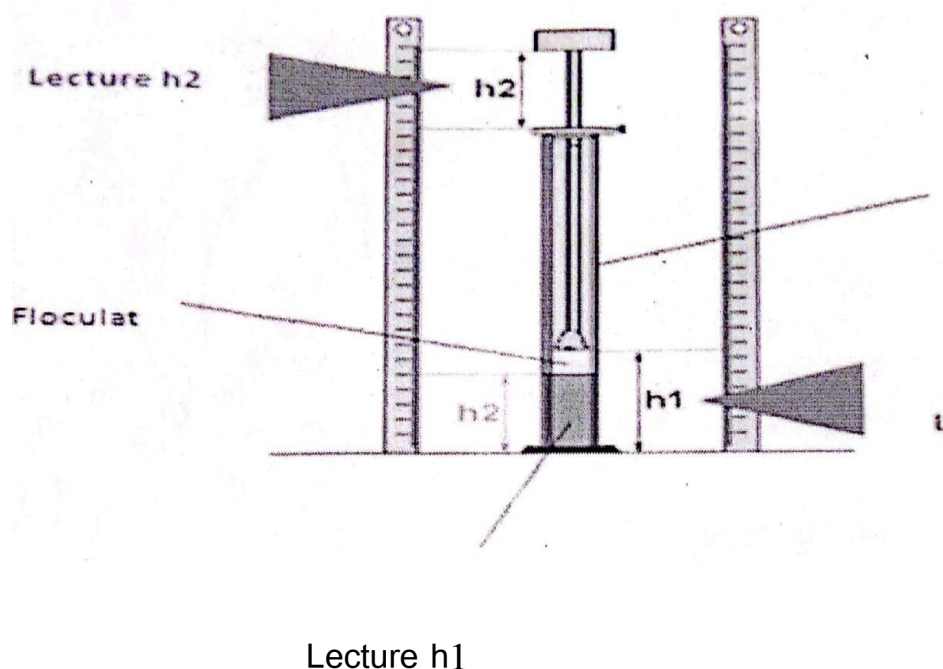


Figure IV.3 Essais d'équivalent de sable

IV.3.2.5 Equivalent de sable visuel : (E.S.V) :

Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h du niveau supérieur du flocculant jusqu'au le fond de l'éprouvette à l'aide d'une règlette.

Mesurer également avec le réglet la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

On : h_2 h_1

$ESV = (h_2/h_1) * 100\%$ h_2 : la hauteur du sable.

IV.3.2.6 Equivalent de sable piston :(E.S.P)

Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, cet instant bloquer le manchon du piston, et sortir celui-ci de l'éprouvette.

Introduire le règle dans l'encoche du piston jusqu'à ce que de zéro vienne buter contre la face intérieur de la tête du piston, soit h_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

On : h_1 : la hauteur du sable +floculat.

h_2' : la hauteur du sable ($h_2' < h_1$)

Mode opératoire :

On remplit l'éprouvette de solution lavant jusqu'au trait inférieur.

A l'aide du récipient de mesure, on introduit une masse sèche de 120 g de matériau dans l'éprouvette par l'intermédiaire de l'entonnoir, on frappe fortement à plusieurs reprises la base de l'éprouvette sur la paume de la main pour déloger les bulles d'air.

On laisse pendant dix minutes, ensuite on agite l'éprouvette à l'aide de l'agitateur électrique afin de boucher l'éprouvette à l'aide du bouchon de caoutchouc à raison de 90 cycles en 30 s.

Laver le sable et le bouchon avec précaution jusqu'à atteindre le trait supérieur.

Laisser reposer pendant 20 minutes,

Mesure à l'aide règle la hauteur h_1 (sable + floculat), et à l'aide de piston la hauteur h_2 (sable).

Cadence des essais : au nombre de 2.

L'équivalent de sable permet de quantifier la notion de propreté d'un sable, la présence d'un excès d'argile peut provoquer une augmentation du retrait et une forte demande en eau ce qui entraînera une baisse de résistance mécanique, cependant un manque total de fines conduit des bétons peu maniables, ségréga les et de faibles compacité.

L'équivalent de sable est d'autant plus élevé que la teneur en argile est faible.



Figure IV.4 : Essai équivalent de sable exécuté au laboratoire

IV.3.2.8 L'analyse granulométrique :

La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau, elle est tracée en diagramme semi-logarithmique avec :

En abscisse, le logarithme de la dimension des ouvertures des tamis en valeur croissante.

En donnée, le pourcentage, en poids du matériau total de la fraction du sable dont les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondante (passent) on

constate que la courbe granulométrique est un élément fondamental de la classification du matériau.

Les résultats de cette étude permettent de prévoir certaines Propriétés du matériau comme la perméabilité, l'aptitude au compactage et l'utilisation comme filtre.



Figure IV.5 :Matriels de l'analyse granulometrique

Mode operatoire :

Prélever une masse de 1.5Kg de matériau (sable sec).

Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit m_i la masse du tamis.

Constituer une colonne de tamis propre et sec dont l'ouverture des mailles de haut en bas (exprimer en mm) [5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125-0,08-fond].

Verser le sable sur la colonne de tamis et celle-ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique pendant 10 minutes.

Peser chacun des tamis.

On considère que le tamisage est terminé lorsque le refus ne varie pas de plus de 1%entre deux séquences de vibration de la tamiseuse.

A la fin de tamisage peser les refus en matière retenue par chaque tamis a 1g près, soit M_i : la masse de tamis (i) +le sable.

Calculer la différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles correspond au refus partiel R1 de tamis 1).

Reprendre ma même opération avec le tamis immédiatement inférieur.

Ajouter le refus obtenu sur le second tamis à R1, soit R2 la masse de refus m de tamis (R2=R1+refus partiel sur tamis 2).

Pour suivre la même opération avec la rente des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumules R3 R4.... Rn le tamisât est calculé par la relation :

$$T=100_Rc$$

Ou (RC : refus cumulé en % T : tamisât en%)

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.8 : Sable (1500g) :

Tamis (mm)	Refus(g)	Refus (cumulé)	Refus cumulé	Tamisât cumulé (%)
5	22.1	22.1	1.47	98.53
2.5	60.8	82.9	5.52	94.48
1.25	68.3	151.2	10.08	89.92
0.63	120	271.2	18.08	81.92
0.315	343.1	614.3	40.95	59.05
0.125	788.7	1403	93.53	6.47
0.08	84.6	1487.6	98.57	1.43
Fond	12	1499.6	99.97	0.03

Tableau IV.9 : Gravier 3/8 (1500g) :

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulé(g)	Refus cumulé	Tamisât cumulé (%)
8	19.9	19.9	1.32	98.68
6.3	294.1	314	20.93	79.07
5	420.8	734.8	48.98	51.02
4	189.3	1124.1	74.94	25.06
3.15	222.3	1346.4	89.76	10.24
2.5	133.1	1479.5	98.63	1.37
Fond	20.4	1499.9	99.99	0.01

Tableau IV.10 : Gravier 8/15(3200g) :

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulé(g)	Refus cumulé	Tamisât cumulé (%)
16	17.8	17.8	0.55	99.45
12.5	1200.2	1218	38.06	61.94
10	1077.3	2295.3	71.72	28.28
8	693.1	2988.4	93.38	6.62
6.3	182.4	3170.8	99.08	0.92
Fond	29.1	3199.9	99.99	0.01

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents matériaux utilisés pour formuler le béton à base des fibres d'Alfa. Ces matériaux ont été identifiés par des tests effectués au laboratoire

pédagogique MDC de notre université. L'intérêt principal de cette campagne d'essais est de déterminer les propriétés physiques et mécaniques des composants du béton.

Chapitre V

–Formulation du béton à base de fibres d’Alfa –

V.1 Introduction :

Le béton est un matériau utilisé pour construire nombreux types d'ouvrages dans les domaines du bâtiment, des travaux publics et de l'hydraulique « BTPH ».

Pour formuler le béton à base des fibres végétales d'Alfa, on appliquera la formulation de Dreux–Gorisse contenant plusieurs étapes de calcul successives et nécessaires pour l'obtention des quantités des différents composants d'un mètre cube « 1m^3 » de béton.

V.2 La partie théorique :

Les constituants de béton :

- Ciment : liant hydraulique représenté comme une poudre très fine.
- Granulats : des matériaux inertes qui proviennent de l'érosion ou concassage des roches.
- Sable : c'est une roche sédimentaire qui doit être propre sans poussière.
- L'eau de gâchage : servant à hydrater le ciment.

V.2.1 Classification des granulats :

D'après l'essai d'analyse granulométrique, on a tracé les courbes suivantes :

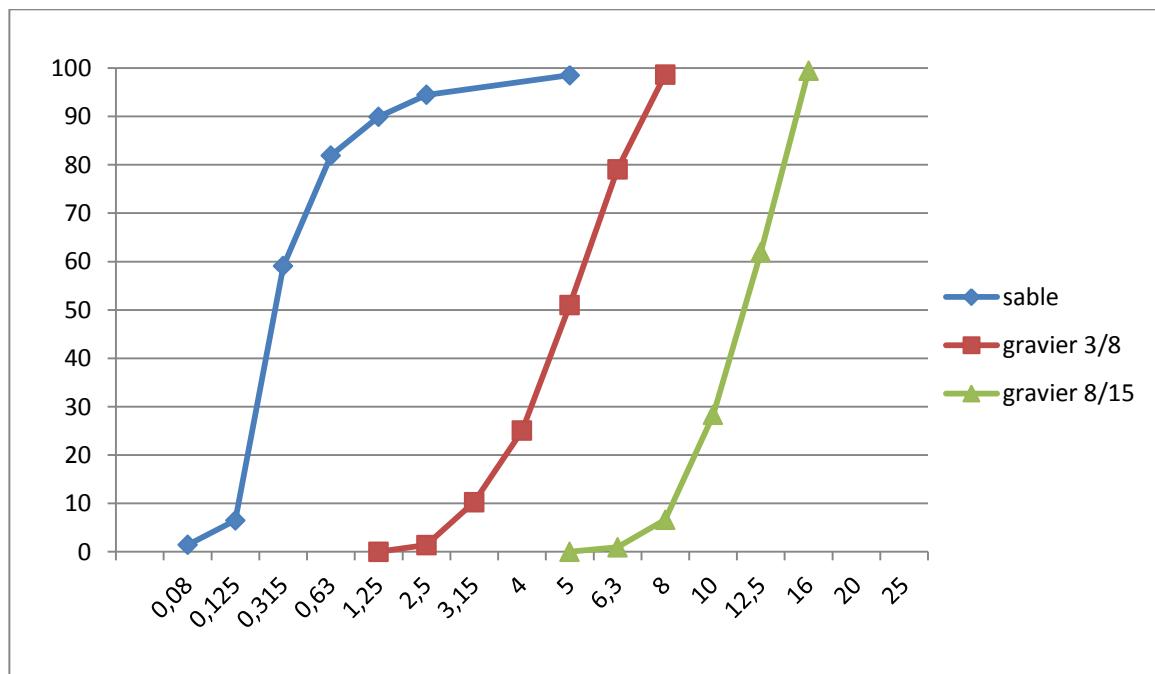


Figure V.1 : La courbe granulométrique des granulats

V.2.2 Choix de la dimension maximale des granulats

On choisit le 'D' à partir de l'ouvrage à couler. Pour notre cas, on choisit les granulats de diamètre $D < 16\text{mm}$.

V.2.3 Détermination de la résistance moyenne du béton " σ'_{28} "

On fixe en premier lieu une résistance caractéristique " f_{c28} " choisie en fonction de l'importance de l'ouvrage à réaliser. $f_{c28} = 25\text{MPa}$

$$\sigma'_{28} = 1.15 \times 5 \times f_{c28} : \sigma'_{28} = 28.75\text{MPa}$$

V.2.4 Détermination le dosage en ciment

Après la formulation, on a : $\sigma'_c = 42.5$

$$\sigma'_G \cdot \sigma'_e (C/E - 0.5) : C/E = (\sigma'_{28}/G * \sigma'_e) + 0.5$$

$$C/E = (28.75 / (0.45 * 42.5)) + 0.5 = 2.003$$

Avec ce tableau, on détermine le 'G' :

Tableau V.1 la détermination de G

Qualité des granulats	Fins $D < 16\text{mm}$	Moyens $25 < D < 40$	Gros $D > 63\text{mm}$
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
passable	0.35	0.40	0.45

$D_{max} < 16\text{mm}$. Donc : $G=0.45$

V.2.5 Détermination du dosage :

La valeur de C est déterminée grâce à l'abaque donné ci-après en fonction des valeurs de C/E et de l'affaissement au cône d Abrams. Alors on déduit à partir de l'abaque que le dosage de ciment est de : $C=350 \text{ Kg/m}^3$

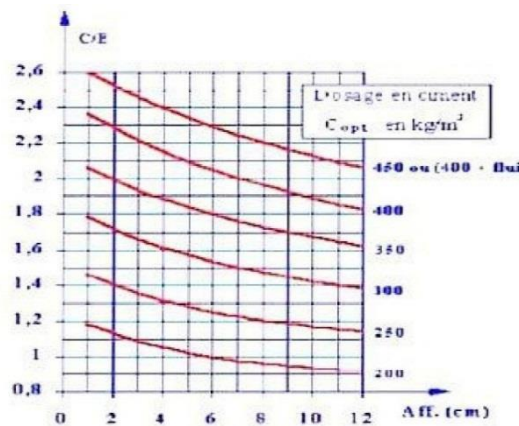


Figure V.2 : L'abaque de dosage de ciment

V.2.6 Détermination du dosage en eau

La quantité d'eau E nécessaire à la confection du béton se calcule grâce aux valeurs d'E/C et de C. $E = C * (E/C)$. On prend $E/C=0.499$ Alors : $E=350*(0.499)=174.65$

V.2.7 Traçage de la courbe GC granulats

On trace la courbe de référence OAB :

O (0.0) : $B(D.100) / d < 20$ $X_A = D/2 = 8\text{mm} / Y_A = 50 - \sqrt{D} + K$ Avec K coefficient correcteur,

Tableau V.2 : Valeurs des coefficients correcteurs K

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats		Roulé	Concasse	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage En ciment	400+fluidifiant	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

Mf=2,5 Donc K=0 Alors : A (8 ; 47,17)

V.2.8 Détermination en pourcentage des différents granulats :

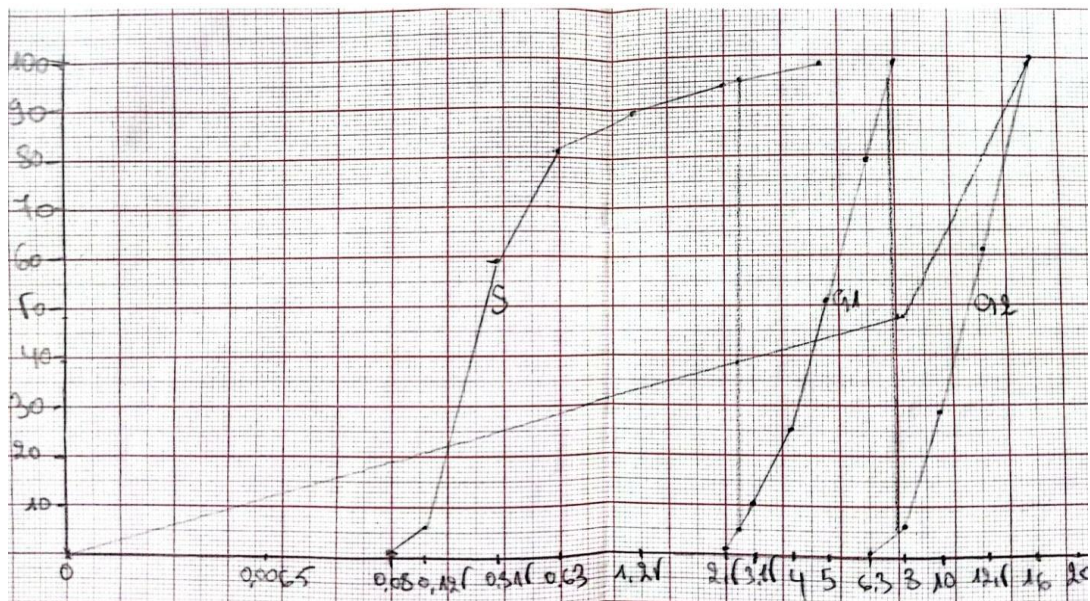


Figure V.3 : la courbe GC granulaire

À partir de la courbe de référence, on obtient :

Un mélange de 39% de sable et 61% de gravier (9% de 3/8 et 52% de 8/15).

V.2.9 Détermination du volume des matériaux utilisés :

V.2.9.1 Détermination du volume absolu "V" de l'ensemble des granulats.

Y compris le ciment :

$$V = 1000\gamma \quad \gamma=0.82$$

γ : coefficient de compacité

V.2.9.2 Détermination du volume absolu "Ve" du ciment :

$$V_c = C / 3.1 = 112.90L$$

Avec C : dosage en ciment (kg).

V.2.9.3 Détermination du volume absolu "Vgt" des granulats :

$$V_{gt} = V - V_c, V_{gt} = 1000 * 0.82 - 112.9 = 707.1L$$

V.2.9.4 Détermination du volume absolu "Vs" du sable :

$$V_s = V_{gt} * \%sable = 707,1 * 39\% = 275.76L$$

V.2.9.5 Détermination du volume absolu "Vg" du gravier 3/8 et gravier 8/15 :

$$V_g = V_{gt} * \%grav \quad V_{g3/8} = 707.1 * 9\% = 63.64L$$

$$V_{g8/15} = 707.1 * 52\% = 367.69L$$

V.2.9.6 Détermination du dosage en matériaux pour 1m³ de béton :

$$M_s = 275.76 * 1.87 = 515.671kg$$

$$M_{g3/8} = 63.64 * 2.62 = 166.671kg$$

$$M_{g8/15} = 367.69 * 2.65 = 974.37kg$$

$$M_c = 350kg$$

$$Eau = 174.65L$$

Adjuvant fluidifiant: 2% du poids de ciment (0.2 à 0.3%), soit 6.2 L

Fibres 3.194 kg/m³

V.3 La partie expérimentale :

V.3.1 Le matériel utilisé :

- Cône d'Abrams.
- Une règle.
- Une balance.
- Moules métalliques (cylindriques).
- Malaxeur.
- Spatule.

- Une table plane
- Table vibrante.

Mode opératoire :

Mouillage de la paroi interne du malaxeur.

- ✓ Préparation du mélange en respectant soigneusement les démarches suivantes :
- ✓ La pesée du sable, des granulats et du ciment ;
- ✓ Introduction du sable, des graviers et du ciment dans le malaxeur. Le tout est ensuite malaxé pendant 120 secondes ;
- ✓ Introduction des fibres végétales d'Alfa puis l'adjuvant en dernier, par petite quantité. La durée du malaxage est de 120 secondes.
- ✓ Introduction de l'eau puis un malaxage pendant 120 secondes

La mise en place a été effectuée dans les différents moules destinés aux échantillons Correspondants aux essais programmés. Les bétons ont été mis en place par vibration à l'aide des dispositifs vibratoires traditionnels (principalement table vibrante).

V.3.2 L'essai de consistance au cône d'Abrams :

On introduit le béton dans le moule en 3 couches d'égales hauteurs et on prend une tige piquage actionnée 25 fois par chaque couche.

- Après avoir arasé par une règle sur le bord supérieur de moule.
- Le démoulage en soulevant le moule avec précaution.
- Mesure l'affaissement de béton et dans la minute qui suit le démoulage.



Figure V.4 : Préparation du béton

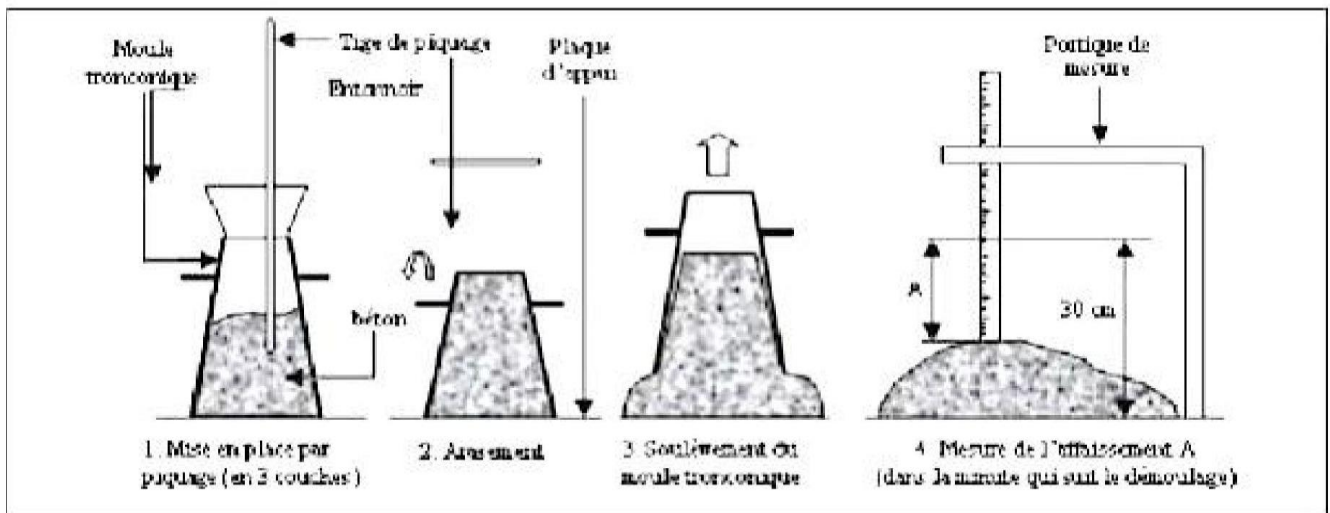


Figure V.5 : Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams



Figure 5.6 : Essai de cône d'Abrams

V.3.3 Dimensions et remplissage des éprouvettes :

Pour les différents essais sur le béton durci, nous avons choisis des éprouvettes cylindriques type 16 x 32 cm pour les essais de compression simple. Des prélèvements sont réalisés dans des moules déjà graissés par un produit de décoffrage, ce dernier est rempli raison deux couches puis vibré, selon la condition d'hypothèse de formulation. À la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une règle. La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse et bien finie.

V.3.4 Moulage ou confection des éprouvettes



Figure V.7 : Moulage des éprouvettes

V.3.5 Démoulage des éprouvettes après 24h



Figure V.8 : Démoulage des éprouvettes

Les éprouvettes confectionnées étaient conservées à l'air ambiant du laboratoire ($T = 25^{\circ}\text{C}$)



Figure V.9 : Ecrasement du béton

Formulation du béton de référence (Béton témoin)

La formulation des composants du béton de référence ou béton témoin est donnée par le tableau ci-dessous :

Tableau V-3 : Composition du béton témoin et sa résistance en compression à 28 jours.

Composition du béton		Valeurs et résultats
Gravier	8/15 (kg/m ³)	315
	3/8 (kg /m ³)	210
Sable 0/3 (kg /m ³)		210
Ciment (kg/ m ³)		350
Eau (l/m ³)		175
E/C		0.50
Affaissement moyen (cm)		6
Résistance en compression	f _{c28} (MPa)	25

Caractéristiques du béton à base des fibres d’Alfa :

La formulation des composants du béton à base des fibres d’alfa et sa résistance en compression sont données par le tableau ci-dessous :

**Tableau V-4 : Composition du béton à base des fibres d'Alfa et sa résistance en compression
à 28 jours.**

Composition du béton		Valeurs et résultats
Gravier	8/15 (kg /m ³)	974,37
	3/8 (kg /m ³)	166,671
Sable 0/3 (kg /m ³)		515,671
Ciment (kg/m ³)		350
Superplastifiant (l/m ³)		6.20
Eau (l/m ³)		174,65
E/C		0.499
Fibres d'Alfa (kg /m ³)		3.194
Affaissement moyen (cm)		22
Masse volumique moyenne (kg /m ³)		2358,98
Résistances en Compression à 28 jours	fc ₁ (MPa)	29,95
	fc ₂ (MPa)	28,31
	fc ₃ (MPa)	30,67

Remarques et commentaires

D'après ces résultats, on constate que l'ajout des fibres d'Alfa au mélange du béton contribue à augmenter la résistance mécanique en compression à 28 jours, comparée à celle d'un béton ordinaire.

V.3.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons montré l'effet des fibres d'Alfa sur la résistance mécanique en compression du béton.

L'essentiel des résultats a été basé sur la résistance mécanique en compression à 28 jours.

Nous pouvons citer les principaux points de cette étude :

- La quantité totale de la fibre d'Alfa influençait la densité finale du béton.
- Les fibres d'Alfa ont un effet positif sur la résistance à la compression.
- Les fibres d'Alfa entraînent une augmentation du volume.
- Le superplastifiant contribue à améliorer la résistance à la compression du béton.

–Conclusion générale–

Le béton de fibres est employé dans une vaste gamme d'applications et faisant objet de plusieurs travaux de publication et de brevet.

Dans le cas de la présente étude, nous avons ajouté des fibres végétales d'Alfa au mélange d'un béton adjuvanté afin de constater leur effet sur les caractéristiques mécaniques (résistance en compression).

Les fibres d'Alfa utilisées, de longueur de 20 mm, ont contribué à augmenter la résistance mécanique en compression du béton.

Pour les travaux en perspective, nous allons modifier les longueurs des fibres et leur fraction volumique et de constater leur influence sur le comportement mécanique du béton ordinaire.

–Références bibliographiques–

- [1] DR. P. BOERAEVE : « Technologie du béton », Edition 1994, Groupement Belge du béton
- [2] RICAL, J. C., Matériaux composites, introduction à l'usage des ingénieurs et des techniciens, édition Masson, Paris, 1992.
- [3] AIT AMEUR, M.M., Contribution à l'étude expérimentale des bétons renforcés de fibres d'acier locales. Memoir de magister, U Tiaret, 1998.
- [4] BEAUDOIN, J. J., Béton renforce de fibres Institute de recherché en construction; conceal national de recherché, Canada, p.04, 1982.
- [5] BOUCHEKOUK, M., Etude du baton renforce par des fibres de verre endues de polymer thermoplastiques thèse doctorat, INSA de Lyon, France, 1992.
- [6] DEBICKI, G. Contribution à l'étude du rôle de fibres dispersées anisotropiquement dans le mortier de ciment sur les lois de comportement, les critères de résistance et la fissuration des matériaux. Thèse de doctorat, INSA de Lyon, France, 1988.
- [7] CASANOVA, P. LEMAOU, F. SCHALLER, I. Les fibres d'acier peuvent-elles remplacer les armatures transversales dans les poutres de béton armé, bulletin de liaison L.C.P.C, N° 195 Jan.-Fév., 1995.
- [8] KHENFER, M. Caractérisation structurale et rhéologique des ciments et des plâtres renforcés de fibres cellulosiques. Thèse de docteur, université de Bordeaux, Juin 1990.
- [9] SWAMY, R. H. S, AHUJA, B. M, KRISHAMOORTHY, S. Behavior of concrète renforce with jute, coir, bamboo fibres. The international journal of cément composite and light weight concrète, volume 5, p 13 N°1, 1984.
- [10] COUTTS, R.S.P., Flax fibres as a renforcement in cément mortar , the international journal of cément composites and lightweight concrète, vol.5 N°4,pp 257-262, 1983.
- [11] KRIKER. A. Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec. Thèse de doctorat d'état, ENP, Alger, 2005.
- [12] LACROIX, R., FUENTES, A. et THONIER, H., Traité de béton armé Édition EYROLLES Paris, 1982
- [13] BLEDZKI, A. K and GASSAN. J., Composites renforce with cellulose based fibres, ELSEVIER, Progress in polymère science, volume 24, pp.221-274, 1999.
- [14] FRITIH Youcef., (2009), *Apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'éléments en béton auto plaçant armé*, Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France.

- [17] F. Michaud, ''Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage'' thèse Phd, univ Laval, 2003.
- [18] A. Y. Nenonene, ''Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage'', thèse de doctorat de l'université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, Sciences des Agro ressources, 2009.
- [19] K.Charle, C.morvan, J.Bréard, JP.Jernot, M.Gomina, ''Etude morphologique d'un composite naturel la fibre de lin'' revue des composites et des matériaux avancées, Vol16, pp11-24,2006.
- [20] C.Ververis, K.Georghiou, N.Christodoulakis, P. Santas, R.Santas. '' Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their Suitability for paper production. Industrial Crops and Products 19: 245–254,2004.
- [21] M.Nardin, ''interface fibre-matrice dans les matériaux composites application aux fibres végétales'', revue des composites et des matériaux avancés, Vol 16, pp 49-61, 2006.
- [22] A.K. Bledzki, J. Gassan, ''Composites reinforced with cellulose based fibres'', Prog. Polym. Sci. 24 221–274, 1999
- [23] F.Laurans, A.Déjardin, J.Pilate, ''Physiologie de la formation des parois de fibres de bois'', composites et matériaux avancés, Vol.16, pp.27-39,2006.
- [24] C Couhert. Pyrolyse flash à haute température de la biomasse ligno- cellulosique et de ses composés - production de gaz de synthèse'', Thèse de pour obtenir le de Doctorat de l'Ecole des Mines de Paris Energétique.2007.
- [25] R.M. Rowell' Composite Materials from Agricultural Resources'' Olsen, Ole; Rexen, Finn; Larsen, Jorgen, eds. Research in industrial application of non food crops, I: plant fibers: Proceedings of a seminar; 1995 May; Copenhagen, Denmark.Linkboy, Denmark Academy of Technical Science: 27-41