

W11682

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Ecole Nationale des Travaux publics

Pour l'obtention du diplôme de
MAGISTER
en Génie Civil
Spécialité : Matériaux et Structures

Présenté par
M^{lle} : BAHLOUL Ouassila
Ingénieur d'Etat en Génie Civil



**Propriétés mécaniques, physiques et
durabilité des mortiers à base de
Fibres cellulosiques (cas de l'alfa)**

Soutenu le 22 juin 2006 publiquement devant le jury composé de :

BALI Abderrahim	Professeur	ENP Alger	Président
SILHADI Kamel	Maître de conférence	ENP Alger	Rapporteur
AKCHICHE Omar	Chargé de cours	I.I.M Boumerdes	Examineur
AMIEUR Mohamed	Chargé de cours	ENTP Alger	Examineur
GUETTACHE Brahim	Chargé de cours	ENTP Alger	Examineur

REMERCIEMENTS

Louanges à DIEU maître de la science et du savoir

J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur le Professeur A. BALI de l'école Nationale Polytechnique d'Alger qui m'a fait l'honneur de présider ce jury.

Je mesure l'honneur, que bien voulu me faire Monsieur K. SLHADI Maître de conférence à l'école Nationale Polytechnique d'Alger pour avoir accepté d'être rapporteur de ce travail et pour m'avoir fait part des ses précieuses observations.

Mes plus vifs remerciements vont aussi aux membres : M.AMIEUR, O.AKCHICHE, B.GUETTACHE pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en acceptant d'être examinateurs.

J'adresse également mes remerciements à A. BOURZAM attaché de recherche au C.G.S qui m'a encouragé sur le choix du sujet. Ses conseils judicieux et ses remarques formulées avec bienveillance m'ont permis de mener à bien cette étude.

Je tiens à remercier M^{lle} Z. DERICHE de l'ENTP Alger qui m'a considérablement aidé. Par la même occasion j'exprime mes remerciements à Madame K. BOUREGHDA pour ses précieux conseils

Je remercie tout le personnel de l'ENTP et en particulier son directeur Y. BERRICHE et chef de département post-graduation Mr A. ADAM

Mes remerciements vont également à M^r H. AFRA, M^r BRARA, M^{lle} S. BECJOU, aux techniciens du C.N.E.R.I.B et M^{lle} BELHADJE de la papeterie de BABA ALI. Ces remerciements s'adressent également à CELPAP d'EL-HARRACH pour sa précieuse collaboration.

Mes remerciements et ma reconnaissance s'adressent également à M^{lle} D.IMAMOUINE pour l'ambiance amicale et le soutien moral.

Je remercie vivement mon frère A. BAHLOUL pour son aide et qui a porté un grand intérêt à mes travaux.

Enfin que toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail trouvent ici mes sincères remerciements.

DEDICACES

Je dédie ce travail

- **A** la mémoire de mon père.
- **A** ma mère pour tous ses sacrifices, que dieu la protège.
- **A** mes frères et sœurs.
- **A** tous mes proches.

SOMMAIRE

Résumés

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des photos

Notations utilisées

PARTIE (I) : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

INTRODUCTION GENERALE..... 1

Chapitre 1 : Généralités sur les fibres, présentation du végétal alfa et de ses propriétés.

1-1 Introduction.....	3
1-2 Généralités sur les fibres	3
1-2-1 Types des fibres.....	5
1-2-2 Rôle des fibres	6
1-3 Classification des fibres végétales.....	7
1-3-1 Les fibres de feuilles.....	7
1-3-2 Les fibres de bois.....	7
1-3-3 Les fibres de surfaces.....	7
1-3-4 Les fibres de tiges	7
1-4 Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales.....	8
1-5 Composition chimique de quelques fibres végétales	9
1-6 Présentation, propriétés et structure anatomique des fibres d'alfa.....	10
1-6-1 Répartition des nappes alfatières.....	10
1-6-2 Importance et valorisation industrielle des fibres.....	11
1-6-3 Composition chimique du végétal	12
1-6-3-1 Cellulose.....	12
1-6-3-2 Hémicelluloses	13
1-6-3 -3 Lignine	13
1-6-4 Morphologie des fibres d'alfa.....	13

1-6-5 Structure anatomique de l'alfa	14
1-7 Différents procédés de préparation de la fibre.....	15
1-7-1 A partir de la pâte mécanique.....	15
1-7-2 A partir de la pâte chimique	16
1-7-3 A partir de la pâte mi-chimique.....	16
1- 8 Conclusion	17

Chapitre 2 : Comportement mécaniques et physiques des bétons et mortiers de fibres

2-1 Introduction.....	18
2-2 Définition d'un matériau composite	19
2-3 Mécanisme de renforcement	19
2-4 Composition et mise en œuvre de fibres	20
2-4-1 Composition et Maniabilité.....	20
2-4-2 Influence de géométrie des fibres sur la maniabilité	21
2-5 Comportement mécaniques et physiques des bétons de fibres.....	21
2-5-1 Résistance à la compression.....	22
2-5-2 Résistance à la traction	23
2-5-3 Résistance à la flexion	25
2-5-4 Module de Young	27
2-5-5 Retrait des bétons de fibres	28
2-6 Etude de la zone interfaciale (fibre/matrice)	29
2-7 Ductilité des bétons de fibres.....	34
2-8 Conclusion	39

Chapitre 3: Durabilité des bétons et mortiers de fibres

3-1 Introduction.....	40
3-2 Durabilité des fibres végétales	40
3-3 Traitement de fibres et matrice	44
3-3-1 Traitement de l'état de surface des fibres.....	44
3-3-2 Traitement de la matrice	45
3-4 Conclusion	46

PARTIE (II) : ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre 4: Identification des matériaux et préparation des mortiers de fibres

4-1 Introduction.....	47
4-2 Caractérisation et analyse de la fibre végétale d'alfa	47
4-2-1 Présentation de la fibre d'alfa utilisée dans l'étude.....	47
4-2-2 Préparation du végétal.....	48
4-2-3 Analyse des matières organiques.....	48
4-2-4 Analyse des matières minérales.....	49
4-2-5 Préparation de la pâte.....	49
4-2-6 Biométrie des fibres	50
4-2-7 Masse volumique des fibres en pâtes cellulosiques	51
4-2-8 Taux d'absorption d'eau par les fibres.....	52
4-3 Caractéristiques physique des granulats du mortier.....	53
4-3-1 Sable.....	54
4-3-2 Ciment	55
4-3-3 Eau de gâchage	57
4-3-4 Adjuvants.....	57
4-4 Définition et description des imprégnants	58
4-4-1 Colophanes	58
4-4-2 Gasoil	59
4-5 Composition des mortiers	60
4-5-1 Mortier témoin.....	60
4-5-2 Mortiers de fibres non traitées.....	61
4-5-3 Mortier des fibres imprégnées	62
4-5-3-1 Imprégnation des fibres par la colophane	62
4-5-3-2 Imprégnation des fibres par le gasoil.....	63
4 -6 Nombre et types d'éprouvettes réservées à l'étude.....	63
4-7 Composition des mortiers utilisés	64
4-8 Conclusion	65

Chapitre 5 : Essais sur mortiers durcis à base de fibres d'alfa.

5-1 Introduction	66
5-2 Procédures d'essais sur mortier	66
5-2-1 Equipements	66
5-3 Essai de maniabilité.....	67
5-4 Essai de résistance à la traction par flexion.....	68
5-5 Essai de résistance à la compression	68
5-6 Essai de retrait.....	69
5-7 Mesure de conductivité thermique	70
5-8 Résultats des interprétations	71
5-8-1 Résistances à la traction par flexion	71
5-8-2 Résistances à la compression	78
5-8-3 Retrait.....	81
5-8-4 Durabilité des mortiers de fibres	82
5-8-5 Conductivité thermique	84
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....	87
BIBLIOGRAPHIES	91
ANNEXES	

ملخص: تتضمن هذه الدراسة تحليل الخصائص الميكانيكية الفيزيائية وديمومة مالط الألياف السيلولوزية للحلفاء. وضعت الألياف السيلولوزية للحلفاء غير المعالجة و المدهونة بمادتي المازوت و الكولوفان في مالط يحتوي على الإسمنت من نوع (CPJ45)، و تم إضافة نسب حجمية و هي (0.5-1-1.5-2-3%) وهذا للحصول على النسبة المثلى للألياف و التي ستعطي للمالط أحسن الخصائص الميكانيكية، و كذا تخفف من شدة تأثير الوسط القاعدي للإسمنت ضد الألياف.

أجريت اختبارات ضغط و شدة بالانعطاف على عينات المالط في قوالب 16x4x4 سم في 28 و 90 يوما تحت ظروف حفظ مختلفة (في الماء العذب، ماء البحر، و في الجو الداخلي للمخبر) أثبتت النتائج أن النسبة المثلى للألياف الواجب إضافتها للمالط هي 1% و أن مادتي الدهن (المادتين العضويتين) لعبتا دورا هاما في حماية الألياف من فعالية قساوة الوسط القاعدي للإسمنت

الكلمات الأساسية: الألياف السيلولوزية- مالط الألياف- مقاومة الضغط- مقاومة الشدة بالانعطاف- ديمومة -التشبع- قابلية التشغيل- الانكماش.

Abstract: This study consists of an analysis of physical and mechanical properties as well as the durability of the mortar with cellulose fiber (Alfa). The cellulose fibers of Alfa non processed and that treated with organic solution such as gasoline and colophon were added to a Portland cement mortar (CPJ 45). This mix fiber-mortar was at different volumetric ratio (0.5, 1, 1.5, 2 and 3 %) in order to achieve the optimal proportion which will give to the mortar the best mechanical behavior and the resistance of fibers to the aggressive environment of the cement (alkaline- environment). Compression and flexion tests were carried-out on mortar samples (4 x 4 x 16 cm) at 28 and 90 days for three different curing conditions (tap water, sea water and air). The test results revealed that the optimal volumetric percentage of the fiber to add to the mortar is 1% and the two solutions used to treat the fibers offered a protection to the cement against aggressive environment.

Keywords: cellulose fibers of Alfa, fiber mortar, compressive resistance, traction resistance, durability, impregnation, workability, shrinkage.

Résumé: La présente étude porte sur l'analyse des propriétés mécaniques et physiques ainsi que la durabilité des mortiers de ciment à base de fibres cellulosiques d'alfa.

Les fibres cellulosiques d'alfa non traitées et celles imprégnées par des imprégnants organiques tels que le gasoil et la colophane ont été incorporée dans un mortier de ciment portland CPJ 45 à différents pourcentages volumiques à savoir 0.5, 1, 1.5, 2 et 3 % et ce, pour mettre en évidence la fraction de fibre optimale qui donnera au mortier les meilleures caractéristiques mécaniques, et à la fois d'atténuer l'agressivité du milieu alcalin du ciment contre la fibre.

Des essais de compression et de flexion ont été réalisés sur des éprouvettes de mortier de 4x 4 x 16 cm à 28 et à 90 jours pour trois régimes de cure différents qui sont, l'eau douce, l'eau de mer et à l'air du laboratoire.

Les résultats des essais ont révélés que le pourcentage optimal de fibres à incorporer dans le mortier est de 1% et que les deux imprégnants ont bien joué leur rôle de protection des fibres contre l'agressivité du ciment.

Mots clés: Fibre cellulosique d'alfa- Mortier de fibres - Résistance à la compression - Résistance à la traction par flexion – Durabilité – Imprégnation- Maniabilité- Retrait.

LISTES DES TABLEAUX

Tableau (1-1) : Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres.	6
Tableau (1-2) : Les caractéristiques physiques des fibres végétales les plus utilisées.	8
Tableau (1-3) : Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales.....	9
Tableau (1-4) : Composition chimique de quelques fibres végétales.	9
Tableau (2-1) : Propriétés de flexion des mortiers de fibres de sisal et noix de coco conservés durant 28 jours dans l'eau.....	39
Tableau (4-1) : Compositions chimiques du végétal préconisé pour l'étude.....	49
Tableau (4-2) : Analyse minéralogique de fibres d'alfa	49
Tableau (4-3) : Dimensions géométriques de la fibre cellulosique d'alfa	51
Tableau (4-4) : Masses volumiques absolues des fibres d'alfa	52
Tableau (4-5) : Taux d'absorption d'eau par les fibres cellulosiques d'alfa.....	53
Tableau (4-6) : Caractéristiques physiques des sables	54
Tableau (4-7) : Fiche technique du ciment utilisé (Source: Laboratoire ERCC MEFTAH).....	56
Tableau (4-8) : Les caractéristiques de l'adjuvant.....	58
Tableau (4-9) : Caractéristiques de la colophane utilisée dans l'étude	59
Tableau (4-10) : Caractéristiques physico-chimiques du gasoil.....	60
Tableau (4-11) : Eprouvettes et essais correspondants.....	63
Tableau (4-12) : Composition des mortiers utilisés	64
Tableau (5.1) : Résistances à la traction par flexion à 28 jours	71
Tableau (5-2) : Résistances à la traction par flexion à 90 jours.....	72
Tableau (5-3) : Résistances à la compression à 28 jours.....	78
Tableau (5-4) : Résistances à la compression à 90 jours.....	79

LISTES DES FIGURES

Figure (1-1) : Structure de cellulose	12
Figure (2-1) : Volume d'eau pour une ouvrabilité constante pour le béton de fibre de sisal.....	21
Figure (2-2) : Effet de l'ajout des fibres de bagasse sur l'adhérence entre les fibres et la matrice.....	23
Figure (2-3) : Variation de la résistance à la traction en fonction du % en volume de fibres de verre	24
Figure (2-4) : Variation de la résistance à la flexion en fonction du % en masse de fibres d'après COUTTS.....	25
Figure (2-5) : Variation de la résistance à la flexion en fonction du % en masse de fibres d'après HOLMER et VAHAN.....	26
Figure (2-6) : Variation de la résistance à la flexion en fonction du % en masse de fibres de bagasse d'après AGGARWAL.....	26
Figure (2-7) : Variation du module de Young en fonction de la longueur des fibres de cellulose.....	27
Figure (2-8) : Comparaison des courbes contrainte-déformation d'un mortier classique et d'un mortier renforcé de fibres.....	30
Figure (2-9) : Modèle proposé pour le problème inter faciale fibres-Matrice	31
Figure (2-10) : Répartition des efforts de traction de part et d'autre d'une fissure centrale d'une fibre de longueur" l "	33
Figure (2-11) : Aspect de la courbe de la force d'arrachement (P) en fonction de la déformation suivie de glissement	34
Figure (2-12) : Diagramme (charge-déformation) après essai de flexion.....	35
Figure (2-13) : Diagrammes (flèches-efforts) des BF en flexion	38
Figure (3-1) : Chute de résistance à la traction de quelques fibres végétales en fonction du temps d'immersion dans la solution de chaux de pH 11,5.....	42
Figure (3-2) : Effet des cycles de séchage-mouillage sur la charge de rupture pour les matrices renforcées par les fibres de sisal.....	43
Figure (3-3) : Effet des cycles de séchage-mouillage sur la charge de rupture pour les matrices renforcées par les fibres de coco.....	43
Figure (4-1) : Coupe longitudinale d'une fibre cellulosique.....	50
Figure (4-2) : Modèle géométrique de la fibre cellulosique	53

Figure (4-3) : Courbe granulométrique du sable utilisé	55
Figure (4-4) : Formule développée de la colophane	59
Figure (5-1) : Phases successives de l'essai au maniabilimètre	67
Figure (5-2) : Dispositif de l'écrasement à la compression.....	69
Figure (5-3) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la traction par flexion à 28 jours (mortier type MF).....	72
Figure (5-4) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la traction par flexion à 28 jours (mortier type MFG).....	73
Figure (5-5) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la traction par flexion à 28 jours (mortier type MFC).....	73
Figure (5-6) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la traction par flexion à 90 jours (mortier type MF).....	74
Figure (5-7) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la traction par flexion à 90 jours (mortier type MFG).....	74
Figure (5-8) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la traction par flexion à 90 jours (mortier type MFC).....	75
Figure (5-9) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la compression à 28 et à 90 jours (mortier type MF).....	79
Figure (5-10) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la compression à 28 et à 90 jours (mortier type MFG).....	80
Figure (5-11) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la compression à 28 et à 90 jours(mortier type MFC).....	80
Figure (5-12) : Retrait des mortiers de fibres (MF) conservés à l'air du laboratoire.....	82
Figure (5-13) : Variation de la résistance à la traction par flexion des différents mortiers relative à l'essai de séchage- mouillage.....	83
Figure (5-14) : Conductivité thermique en fonction du pourcentage de fibres des différents mortiers (MT-MF-MFC)	84

LISTES DES PHOTOS

(Annexe)

Photo 1 : "La mer d'alfa" sur les hauts plateaux Algérien.

Photo 2 : Pâte cellulosique d'alfa après macération et défibrage.

Photo 3 : Pâte cellulosique d'alfa après macération et défibrage.

Photo 4 : Vue microscopique des fibres.

Photo 5 : Pâte d'alfa : Fibres et éléments accessoires.

Photo 6 : Vue de fissure (notons la continuité des fibres) mortier 1%.

Photo 7 : Les fibres bloquent l'ouverture des deux lèvres de la fissure.

Photo 8 : Vue rapprochée des fissures ainsi la présence des «incuits».

Photo 9 : Continuité des fibres.

Photo 10 : Observation à la vidéo microscope.

Photo 11 : Après écrasement de l'éprouvette, agglutination de fibre.

Photo 12 : Echantillon après essai de traction par flexion (notons la continuité des fibres "effet de couture").

Photo 13 : Vue générale du maniabilimètre.

Photo 14 : Vue perspective : différents parois de la fibre cellulosique.

Photo 15 : Observations réalisées sur coupes transversales de parois de fibres.

Photo 16 : Appareillage de compression utilisé pour le mortier.

Photo 17 : Appareillage de traction par flexion utilisé pour le mortier.

Photo 18 : Appareillage de défibrage.

Photo 19 : Microscope biologique.

Photo 20 : Appareillage pour l'isolation thermique.

Photo 21 : Essai équivalent de sable.

NOTATIONS UTILISEES

I/ En lettres Françaises

- b**: Largeur de l'éprouvette
- C** : Dosage de ciment
- D** : Diamètre extérieur de la fibre
- d** : Diamètre intérieur de la fibre
- E** : Module de Young du composite
- E_m : Module de Young de la matrice
- E_f : Module de Young des fibres
- D_n : Indices ou coefficient de ductilités
- E/C** : Rapport eau sur ciment
- ES** : Equivalent de sable
- E** : Epaisseur des fibres
- F** : Charge
- F_1 : Charge à la rupture
- F_c : La charge maximale à la rupture
- h** : Hauteur de l'éprouvette
- I** : Indice de ductilité
- l/d** : Elancement des fibres
- L/d** : Rapport longueur sur diamètre
- l** : Longueur de la fibre
- M** : Moment de flexion
- M_f : Module de finesse
- n_o : Facteur d'orientation
- n_l : Facteur de longueur
- P** : Charge
- P_n : Charge correspondant à la déflexion δ
- R_t : Résistance à la traction
- R_c : Résistance à la compression
- S** : Section droite pleine de la fibre
- S_l : Surface latérale extérieure de la fibre
- V_f : Fraction volumique des fibres
- V_o : Volume des vides dans la matrice
- W** : Allongement de la fibre

II/ En lettres Grecs

σ_c : Contrainte en compression

σ_f : Contrainte en flexion

σ_{mc} : Contrainte en compression de la matrice

σ_{ft} : Contrainte en traction de la fibre

σ_{ft} : Contrainte ultime de traction de la fibre

σ_t : Contrainte en traction

ρ : Masse volumique

η : Coefficient de rendement des fibres

τ : Contrainte moyenne d'adhérence à l'interface fibre-matrice

ξ : Coefficient de distribution des fibres.

τ_x : la contrainte d'adhérence

τ_{fu} : Résistance limite de frottement

λ : Coefficient de conductivité thermique

δ : Déflexion ou flèche

III/Abréviation

A : Air laboratoire

AFNOR: Association Française de normalisation

ASTM: American Society for Testing and Materials

BC : Béton classique ; Béton courant

BF : Béton de fibres

CPJ : Ciment Portland composé (ciment Portland à constituants)

E : Eau douce

HR : Humidité relative

M : Eau de mer

MT : Mortier témoin

MF : Mortier de fibres non traitées

MFG : Mortier de fibres imprégnées par le gasoil

MFC : Mortier de fibres imprégnées par la colophane

MOR : Module de rupture en flexion

Introduction Générale

INRODUCTION GENERALE

Le béton est un matériau moderne, sa faible résistance en traction, sa fragilité et son aptitude à la micro fissuration font qu'il doit être renforcé dans la majorité des applications. Pour ce faire on utilise des armatures, des câbles ou des fils de précontrainte. Ces solutions traditionnelles ont fait leurs preuves et elles resteront utilisées encore très longtemps. Parallèlement à cela il existe une autre solution qui consiste à noyer dans le béton ou le mortier des fibres permettant ainsi :

- Une bonne résistance à la traction directe, et à la fatigue.
- Des effets de retrait et de chocs thermiques limités.
- Une bonne durabilité.
- Un risque de fissuration limitée.
- Une bonne ductilité.

Des fibres de toute nature ont été expérimentées dans le renforcement des bétons et des mortiers. Les plus répandues sont les fibres d'acier, d'amiante, de polymère, de carbone et végétales. A cause du problème que présentent les fibres d'amiante sur la santé humaine et du coût de production de certaines fibres industrielles, le renforcement par les fibres végétales pourrait connaître un avenir prometteur, particulièrement dans les pays en développement qui possèdent généralement les filières pour valoriser ces ressources naturelles.

L'Algérie est un pays qui dispose d'importantes ressources en fibres végétales (Palmier, Alfa,...). Malheureusement, leur valorisation dans les domaines pratiques, entre autre, dans les matériaux de construction est encore inexploitée.

Nous tentons dans cette étude d'apporter une contribution en vue de la valorisation des fibres d'alfa. Ces dernières sont à faible coût, proviennent d'une source renouvelable et peuvent être intégrées d'une façon rationnelle dans le domaine de la construction.

Le travail présenté dans ce manuscrit porte sur les propriétés mécaniques, physiques et la durabilité des mortiers à base de fibres d'alfa et se compose de deux parties : une recherche bibliographique et une étude expérimentale.

La première partie est constituée par 3 premiers chapitres :

- Dans le premier chapitre, on cite les généralités sur les fibres, la présentation du végétal alfa ainsi que de ses propriétés.
- Le deuxième chapitre est réservé aux résultats des travaux antérieurs effectués par différents auteurs, sur le comportement mécanique et physique des bétons et mortiers de fibres.
- Le troisième chapitre traitera d'une façon générale de la durabilité des bétons de fibres végétales.

La deuxième partie est expérimentale. Elle est présentée par deux chapitres :

- Le chapitre quatre est consacré à l'identification des matériaux et préparation des mortiers de fibres. Un traitement de la fibre par deux différents imprégnants (colophane, gasoil) et leurs effets dans la matrice sera étudié. Le travail ainsi conçu a concerné l'étude des variations volumiques de fibres pour la recherche de la fraction optimale à ajouter à la matrice qui donnerait le composite le plus résistant.
- Dans le chapitre cinq nous présentons les essais de comportement à la traction par flexion et à la compression, de retrait, de durabilité pour des régimes de cure différents (air du laboratoire ; eau douce et eau de mer), et de mesure de la conductivité thermique. Nous exposerons les résultats expérimentaux ainsi que leurs interprétations. Ce programme d'essais a été réalisé grâce à la collaboration de l'ENTP, l'INIM, le CNERIB, la papeterie de BABA-ALI et CELPAP d'ELHARRACH.

Nous présentons une conclusion générale sur les mortiers de fibres alfa et leur durabilité en se basant sur les résultats obtenus et nous donnons quelques recommandations. Enfin, nous espérons que ce travail apportera une contribution modeste au développement et à l'exploitation des mortiers à base de fibres cellulosiques d'alfa.

Chapitre I

Généralités sur les fibres

Présentation du végétal Alfa et de ses propriétés

1-1 Introduction

Depuis toujours, les chercheurs visent l'amélioration des performances des matériaux de construction. Pour y parvenir, l'une des pratiques très utilisée dans ce but est le renforcement des matériaux par des fibres incluses en son sein.

Des fibres de toute nature ont été expérimentées. Les plus répandues sont les fibres d'amiantes, de verre, d'acier, de plastique, de carbone et végétales.

En Algérie, les réserves forestières étant limitées, on se tourne plutôt vers l'utilisation de fibres de récupération et celles des plantes annuelles.

La fibre utilisée doit être avant tout, mécaniquement, physiquement et chimiquement compatible avec les constituants de la matrice du béton et en particulier avec le ciment. Elle doit conserver ses propriétés dans le temps et être d'un coût acceptable compte tenu des performances qu'elle doit conférer à la matrice.

Une bonne alternative serait l'alfa, la paille ou les fibres des palmiers dattier. La fibre alfa est retenue pour des raisons de disponibilité et d'économie.

1-2 Généralités sur les fibres

L'idée d'utilisation des fibres dans les domaines pratiques est très ancienne. Dès l'antiquité, les fibres ont été utilisées dans la fabrication des cordes et textiles spécialement celles d'origines végétales ou animales. Comme renforcement des matériaux traditionnels, la première utilisation des fibres a été observée dans la fabrication des briques argileuses ou dans des plâtres, et spécialement par des fibres végétales. La naissance de la fibre industrielle, suite aux développements technologiques, a augmenté les champs d'application des fibres dans plusieurs domaines.

Cependant, la première fibre utilisée dans le renforcement des ciments est la fibre d'amiante au début du 20^{ème} siècle. Le succès qui a marqué l'utilisation de l'amiante ciment est dû, premièrement à la grande demande du marché en matériaux à

bas prix et durable, deuxièmement à la disponibilité des deux matières premières principales que sont l'amiante et le ciment et enfin à l'existence d'un processus industriel de fabrication simple pour chaque produit.

Les applications de ciments renforcés de fibres de verre (CEF), ont commencé en Russie, puis Danemark par KRENCHER et aux USA par ROMUALDI et enfin en Grande Bretagne par NURSE et MAJUNDA [1] . Le renforcement des ciments par les fibres de verre a commencé à partir des années 50.

Depuis 1966, les efforts ont été concentrés pour l'amélioration de la qualité des fibres notamment leur résistance aux alcalis.

Parallèlement, la technologie des fibres d'acier fut développée. Des recherches se poursuivent pour adopter des matériaux à toutes performances.

Cependant, si les fibres de verre et les fibres d'acier donnent de meilleurs résultats dans le renforcement du ciment, il faut noter que du point de vue coût elles sont très chères comparées à d'autres types de fibres telles que les fibres végétales.

Vu les problèmes de santé que présente la fibre d'amiante, sa substitution par des fibres végétales est un enjeu social important.

Les fibres de toute nature sont très employées dans différents ouvrages dans le but d'augmenter leurs performances mécaniques et physiques. A titre d'exemple le tableau (Annexe) résume les diverses applications des fibres dans les produits cimentaires.

L'utilisation des fibres naturelles d'origine végétale dans la construction remonte aux années où l'on fabriquait des briques d'argile renforcées par de la paille ou des roseaux [2]. Les fibres végétales sont de plus en plus utilisées dans les dalles, la production des tuiles et les dallages de parking ainsi que dans le renforcement du plâtre. Plusieurs ouvrages sont réalisés avec le plâtre renforcé de fibres végétales[3].

Actuellement le monde connaît de récents développements dans le domaine du renforcement de ciment et béton avec des fibres végétales. Suite aux problèmes de santé posés par les fibres d'amiante, plusieurs axes de recherches sont orientés vers la substitution de celles-ci par les fibres végétales[4-5], particulièrement, pour les pays en voie de développement, qui possèdent des fibres naturelles en grande quantité qui sont souvent laissées sans valorisation.

En outre, la production de nouveaux matériaux composites à base de fibres végétales est l'un des domaines le plus récemment exploité. Plusieurs chercheurs révèlent que le renforcement d'une matrice à base de résine ou de plastique par des fibres végétales donne de bon résultats tant sur le plan économique que sur le plan mécanique [6-7].

Les résultats des travaux de BOLTON [7] montrent que les matériaux composites à base de fibres végétales et plastiques à matrice de résine présentent des propriétés intéressantes, (Annexe Tableau 2).

D'autres travaux de LEAO et al [8] et BLEDZKI et al [6], montrent la possibilité d'améliorer les propriétés des produits polymères (plastique) par les fibres naturelles. (Annexe Tableau 3).

L'avenir du développement des bétons de fibres sera peut être attribué aux fibres végétales. Particulièrement pour les pays en développement qui possèdent des fibres naturelles en grande quantité qui ne sont pas souvent valorisées.

Comme notre étude s'intéresse à l'utilisation des fibres végétales d'alfa dans le mortier, nous exposerons ultérieurement en détail ce végétal et ses propriétés.

1-2-1 Types de fibres

Il y a plusieurs types des fibres, parmi les quelles on cite :

- a) les fibres métalliques (acier, fonte) ;
- b) les fibres organiques (polypropylènes, polyesters, polyamides et polystyrènes) ;

- c) les fibres minérales (amiante, verre, carbone) ;
- d) les fibres végétales (Jute, sisal, coir, bois, bambou, palmier) ;
- e) les fibres animales (poil, laine, soie).

Le tableau ci-dessous donne quelques caractéristiques des différentes fibres les plus utilisées.

Tableau (1-1) : Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres [9] [10]

Fibre	Diamètre en μm	Densité	Module d'élasticité en GPa	Résistance à la traction en GPa	Allongement de rupture en %
Acier	5-500	7,8	200	1-3	3-4
Verre	5-20	2,6	80	1,5-3	2-3,5
Polypropylène	10,200	0,9	5-10	0,4-0,75	15-25
Amiante	0,02-20	2,5-3,4	200	3	2,3
Polyester	-	1,4	8	0,7-0,85	11-13
Carbone	5-9	1,7-2,0	250-400	2-3	0,5-1,5

1-2-2 Rôle des fibres

L'incorporation des fibres dans les matrices cimentaires est réalisée afin d'améliorer leur résistance à la traction et aussi de diminuer leur fragilité. L'hypothèse est que lorsque les charges appliquées au béton s'approchent de la charge de rupture, les fissures se propagent parfois rapidement. Les fibres permettent alors l'arrêt du mécanisme de fissuration, en retardant le départ des fissures et en contrôlant sa propagation une fois qu'elles apparaissent.

Les fibres noyées dans le béton permettent d'arrêter le développement de la fissuration. Les barres d'armature en acier jouent un rôle analogue, car elles agissent comme des fibres de grande longueur. Les fibres courtes et discontinues ont cependant, l'avantage de se mélanger et de se disperser dans le béton de façon uniforme [10].

1-3 Classification des fibres végétales

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance. A s'avoir: les fibres de feuilles, de bois, de surface et de tiges.

1-3-1 Les fibres de feuilles

Ces fibres sont obtenues grâce aux rejets des plantes monocotylédones. Les fibres sont fabriquées par un chevauchement de paquet qui entoure les feuilles pour les renforcer. Ces fibres sont dures et rigides.

Les types de fibres de feuilles les plus cultivés sont la fibre de Sisal, de Henequen et d'Abaca [3].

De ce fait, plusieurs chercheurs tels que : NILSON [11] et AYYAD et al [12] ont montré l'efficacité du renforcement du ciment par les fibres de feuilles.

1-3-2 Les fibres de bois

Les fibres de bois proviennent du broyage d'arbres tels que les bambous ou les roseaux. Plusieurs chercheurs [2-4] ont montré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement des ciments.

1-3-3 Les fibres de surfaces

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 coton et la noix de coco. Les fibres de coco ont donné de bons résultats pour la résistance à la flexion du ciment de fibre [2-6].

1-3-4 Les fibres de tiges

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

Tableau (1-2) : Les caractéristiques physiques des fibres végétales les plus utilisées.

Fibre	Réf	Diamètre	Densité (g/cm ³)	Teneur en eau à l'état naturel (%)	Absorption d'eau après 5 min(%)	Absorption d'eau à la saturation (%)
Sisal	[6]	-	1.5	-	-	-
	[13]	0.08-0.30	0.75-1.07	10.97-14.44	67-92	190-250
	[5]	-	1.37	-	89.30	92
Noix de coco	[6]	-	1.2	-	-	-
	[13]	0.11-0.53	0.67-1.00	11.44-15.85	22-28	85-135
	[5]	-	1.17	-	43.20	80.40

Les fibres de tiges sont commercialisées sous forme de paquet de cordes et en toutes longueurs. 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 textiles ou bien dans le renforcement du ciment et béton [2].

Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, ramie, lin, kenaf et de chanvre. NILSSON [11] rapporte que les fibres de tige, les plus utilisées dans le renforcement du ciment, sont celles de sunn, de chanvre et de jute.

Les fibres d'alfa appartiennent à la famille des fibres de tige. Le végétal alfa fera référence à un ensemble de fibres végétales.

1-4 Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre, sa densité et son pourcentage d'absorption d'eau. Elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité.

Les propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales ont été traitées par beaucoup de chercheurs [6-5]. A titre d'exemple nous citerons les résultats de BLEDZKI et al [6] et TOLEDO FILHO [13] et al SAVASTANO et al [5] présentés dans les tableaux (1-2) et (1-3).

Sur le tableau (1-2) nous constatons que les fibres végétales sont naturellement humides. Pratiquement elles absorbent des quantités importantes d'eau à la saturation. Nous remarquons sur le tableau (1-3) que les densités de ces différentes fibres sont très rapprochées, alors que leurs résistances à la traction et leurs modules d'élasticité sont très variables. Cela est dû à la variété de leurs compositions chimiques et de leur texture et spécialement l'orientation de leurs filaments et leur angle spiral. De ce fait, plusieurs chercheurs [6-5] révèlent que la résistance à la traction et le module d'élasticité des fibres végétales sont proportionnels à leur teneur en cellulose.

Tableau (1-3) : Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales.

Fibre	Réf	Densité (g/cm ³)	Allongement à la rupture (%)	Résistance à la traction (MPa)	Module de Young (GPa)
Cotton	[6]	1.5-1.6	7.0-8.0	587-597	5.5-12.6
Jute	[6]	1.3	1.5-1.8	593-773	26.5
Lin	[6]	1.5	2.7-3.2	345-1035	27.6
Chanvre	[6]	-	1.6	690	-
Ramie	[6]	-	3.6-3.8	400-938	61.4-128
Sisal	[14]	-	2.6	278	-
	[6]	1.5	2.0-2.5	511-635	9.4-22.0
	[13]	0.75-0.07	2.08-4.08	577.50	10.94-26.70
	[5]	1.37	5.2	363	15.2
Noix de coco	[14]	1.33	-	72	2.0
	[6]	1.2	30.0	175	4.0-6.0
	[13]	0.67-1.00	13.7-41.0	174	2.5-4.5
	[5]	1.17	37.7	107	2.8

1-5 Composition chimique de quelques fibres végétales

La composition chimique de quelques fibres végétales (Noix de coco, Sisal et Jute) selon [15] est donnée dans le tableau ci-dessous.

Tableau (1-4) : Composition chimique de quelques fibres végétales [15].

Fibre	Composant (%)				
	Cellulose	Hémicellulose	Lignine	Pectine	Cendres
Coco	32-43	0.15-0.25	40-45	2.75-4	1.44
Sisal	66-72	12	10-14	-	1.13
Jute	63	-	-	-	7.9

1-6 Présentation, propriétés et structure anatomique du végétal

1-6-1 Répartition des nappes alfatières

L'alfa est une plante vivace de la famille des graminées, classée « *Stipa tenacissima* L » par BATTANDIER et TRABUT (1895). Dans la section des MACHROCHLOA [16] ; c'est une endémique de la Méditerranée occidentale qui croit sur les sols semi-aride d'Afrique du Nord et du Sud de l'Espagne. BOUDY en donnait la répartition suivante [17] :

- Algérie : 4 .000 .000 ha.
- Tunisie : 1. 350. 000 ha.
- Maroc : 2.200 000 ha.
- Libye : 300 000 ha.
- Espagne : 600 000 ha.

En Algérie l'espèce « *Stipa-Tenacissima* L » croit principalement sur les hauts plateaux en mélange avec le sparte dans une alternance de végétation étudiée par RONDIN et VINGADOV (1970) [17], dans les régions de Laghouat, Djelfa, Djebel Maadid, dans les massifs des Bibans et dans les Aurès. Cependant, c'est dans les steppes du sud Oranais qu'on rencontre les plus grandes étendues d'alfa (dans la région de Saida avec plus de 1,7 million d'hectares).

Répandue depuis le littoral dans les zones chaudes et tempérées de la région d'Oran, jusqu'à plus de 1800 m d'altitude dans les Aurès, la nappe alfatière constitue une véritable barrière naturelle qui limite l'avancée du désert. Malheureusement, le surpâturage et la succession d'années de sécheresse entraînent une incessante diminution de son étendue.

Une touffe d'alfa issue des racines d'un même rhizome croit en cercle (Annexe photo1). Le rhizome (tige souterraine) renferme des noeuds très courts et des racines secondaires. Une de ces racines s'étire en longueur et s'enfonce dans le sol à une profondeur appréciable. Les racines, à la base de la tige, sont appelées racines

adventives (fascicules). Généralement, elles ne s'enfoncent pas beaucoup dans le sol. C'est au niveau des entre nœuds que poussent les feuilles (brins). On y trouve des bourgeons et des ébauches de futures racines secondaires. La feuille se présente comme un ruban filiforme, lisse, brillant, solide, recouvert à la base par une gaine velue qui retient une quantité importante de poussière sableuse. C'est à cet endroit qu'on peut facilement l'arracher, car en la coupant à la faucille on provoque la mort de la plante.

L'alfa est une plante résistante à Rhizome très rameux formant des souches d'abord compactes puis devenant circulaire suite au dépérissement des rameux anciens. Les sols argilo-siliceux recouverts de calcaire conviennent bien au développement de cette plante qui craint les sols compacts et humides.

1-6-2 Importance et valorisation industrielle des fibres

La quantité de cellulose que renferme ce végétal alfa, la souplesse, la finesse et la résistance de ses fibres lui confèrent des propriétés très recherchées dans l'industrie papetière ; qualités reconnues depuis fort longtemps (1873) par CHARRIER [17]. En effet, la pâte d'alfa permet de préparer un papier de qualité souple et léger très proche de ceux obtenus à base de vieux chiffons.

Des recherches très récentes ont élargi le domaine d'utilisation en prouvant les performances des pâtes cellulosiques obtenues à base du mélange de fibres d'alfa et de fibres de bois (Eucalyptus) [18].

En Algérie, les tiges d'alfa constituent la ressource de matière première végétale dans l'industrie du papier. L'utilisation de la paille à cette fin est très limitée. De par son aspect papetier, l'alfa trouve un usage artisanal dans la sparterie.

D'autres part, les jeunes tiges incomplètement lignifiées constituent une alimentation fourragère non négligeable.

Enfin, grâce à ses caractéristiques énergétiques, l'alfa permet un apport calorifique important. Pour une plante de 2 à 3 ans, cet apport serait de 5160 kcal/kg [18].

La plante alfa présente une grande résistance au froid (-19°C) tout en supportant les très fortes chaleurs d'été (+40° C).

1-6-3 Composition chimique du végétal

1-6-3-1 Cellulose

La cellulose est un polymère naturel qui a un rôle structural de premier plan dans la grande majorité des parois végétales. Élément constitutif majeur du bois, la cellulose est également rencontrée comme constituant presque unique du coton et de fibres textiles telles que le lin, le chanvre, le jute et le ramie. A ce titre, elle a toujours joué un rôle important dans la vie de l'homme sous forme de textiles ou de papiers [19].

La cellulose est un bio-polymère linéaire formé de longues chaînes de maillons d'anydroglucose qui est disposée selon le cas en fibrilles ou en domaines partiellement cristallins [20], comme l'indique la figure (1-1)

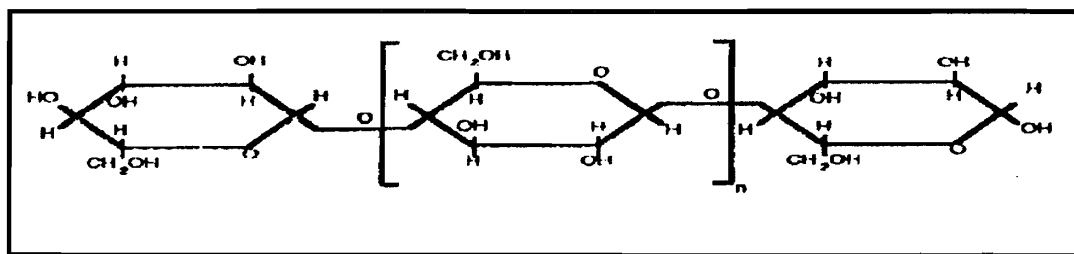


Figure (1-1) : Structure de la cellulose

La chaîne de cellulose est plane et elle offre des possibilités de liaisons Hydrogène intra-chaînes, entre maillons successifs, et inter-chaînes (ou intermoléculaires) qui renforcent la cohésion des faisceaux de fibrilles et jouent un rôle dans l'établissement de liaisons intra-fibres [21].

1-6-3-2 Hémicelluloses

Les hémicelluloses présentes dans toutes les parois des fibres sont des polysaccharides à chaînes plus courtes, ramifiées et repliées sur elles mêmes (comme une hélice à pas plus ou moins grand). Cette disposition dans l'espace des hémicelluloses assure une élasticité au matériau dont le comportement, lors des essais mécaniques, est appelé "Viscoélastique" et permet aux parois de s'allonger pendant la croissance des fibres [22].

Les hémicelluloses constituent donc une matrice amorphe autour des faisceaux de fibrilles de cellulose et possèdent aussi des propriétés hydrophiles et des possibilités de gonflement très importantes. Ces propriétés sont à mettre en parallèle avec le retrait ou les variations dimensionnelles du matériau selon la teneur en eau.

1-6-3-3 Lignines

Les lignines sont des polymères tridimensionnelles provenant de la copolymérisation de trois alcools phénylpropénoïques. Ces lignines jouent le rôle de résines (colles) qui lient les fibres végétales entre elles ainsi que les différentes parois de la fibre [21].

1-6-4 Morphologie des fibres d'alfa

Dans les pâtes d'alfa, les fibres apparaissent sous forme cylindrique régulière à extrémités effilées rappelant les fibres de liber (libriforme) des bois feuillus (Annexe photos 4-5). Elles sont fines avec un lumen étroit et portent souvent des nœuds et des plis. Ces fibres sont accompagnées de nombreux éléments accessoires, on cite :

- Des cellules épidermiques en forme de peignes et de poils.
- Des cellules scléreuses (nœuds) en bâtonnets.
- Des cellules parenchymateuses vivantes et actives dans l'élaboration du végétal.
- Des vaisseaux imparfaits, désorganisés en forme d'anneau et en spirale.

1-6-5 Structure anatomique de l'alfa

La structure anatomique étant à la base de la différenciation de la structure pariétale des fibres, l'une des principales références serait l'ouvrage de M. HARCHE et D. BOUNAGA (1980) [22], selon lesquels les éléments principaux du squelette constitutionnel chimique du limbe d'une feuille d'alfa « *Stipa Tenacissima L* » serait une série de polysaccharides dont la cellulose, de l'eau, des pectines, des uronides et des matières minérales. Le tout est régulièrement réparti en couches et sous couches relativement aux fonctions régies par l'élaboration de l'assise végétale et lié par la lignine omniprésente, lui donnant à la fois résistance mécanique et résistance aux agents chimique et biochimiques.

Le microscope photonique a permis de distinguer plusieurs régions dans les parois de la fibre telles que la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire.

La lamelle mitoyenne est la formation la plus périphérique dans le tissu. Elle est commune aux cellules contiguës et forme un ciment appelé lignine qui assure la cohésion intercellulaire (inter-fibres).

Puis on distingue la paroi primaire, la première formée des niveaux celluloses. Elle est très hydrophile et riche en hémicelluloses. L'eau peut représenter jusqu'à 90% de son poids.

La cellulose présente un faible pourcentage des polysaccharides et la charpente fibrillaire y est relativement lâche. La paroi primaire est la seule enveloppe fibrillaire des cellules jeunes et en croissance. Sa propriété caractéristique est donc la plasticité. Et enfin vient la paroi secondaire composée des trois couches S1, S2, et S3 (Annexe photos 14-15), elle est inextensible et variable d'un tissu à l'autre. D'une façon générale elle est peu hydratée (20 % ou moins d'eau). La charpente fibrillaire y est toujours très compacte.

1-7 Différents procédés de préparation de la fibre

Afin d'obtenir des fibres entières individuelles à partir de la matière première (Bois ou plantes), il faut donc dissoudre ou éliminer les lignines de la lamelle mitoyenne qui servent de liant entre les fibres.

Pour cela il faut préparer ce qu'on appelle la pâte cellulosique par l'un des procédés possibles mécanique, chimique ou mi--chimique

1-7-1 À partir de la pâte mécanique :

On appelle pâtes mécaniques le mélange de fibres et de fines particules de bois obtenu en râpant le végétal par usure ou arrachage à l'aide de meules de pierre ou de métal.

Les techniques ont beaucoup évolué et ont donné naissance à des sortes de pâtes dont les fibres ont des propriétés mécaniques plus élevées. L'augmentation des résistances mécaniques justifie leur fabrication. Cette dernière nécessite des matériels de raffinage différents par les systèmes de mise en pression, de chauffage par la vapeur avec sa récupération, et d'imprégnation chimique.

Parmi les avantages que présentent ces pâtes il y a d'abord l'aspect économique (parce qu'elles nécessitent juste un traitement mécanique). De plus, il s'agit de libérer les constituants du végétal sans aucune transformation chimique, avec un rendement à son maximum. Puisqu'il n'y a presque aucune dissolution, on distingue une affinité aux agents chimiques (traitement moindre) car les fibres cellulosiques ne sont pas isolées des lignines. Pour cette raison, dans nos travaux, on se propose de procéder à une macération du végétal qui vise à détruire une bonne partie d'incrustants, libérant les fibres cellulosiques et permettant une meilleure réception des agents d'imprégnation.

1-7-2 À partir de la pâte chimique

L'exposé complet de la chimie des pâtes nécessiterait d'autres développements que ceux présentés ici : on propose de montrer comment on transforme le végétal pour obtenir les fibres séparément à l'état écu. Le traitement du végétal est appelé cuisson, parce qu'il est pratiqué dans des conditions de température, de temps et de concentration de produits actifs définis : Alcalins, acides.

Les cuissons alcalines se font :

- A la soude $\text{NaOH} + \text{Na}_2 \text{CO}_3$.
- KRAFT au sulfate $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$ (Sulfure de Sodium)
- Monosulfite $\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{Na}_2 \text{CO}_3$.

Les cuissons acides se font principalement au bisulfite de magnésium:
 $\text{SO}_2 + (\text{HSO}_3)_2\text{Mg}$

1-7-3 À partir de la pâte mi-chimique

La pâte mi-chimique est obtenue par un procédé comprenant un traitement chimique, destiné à éliminer les composants non cellulosiques de la matière, puis un traitement mécanique en raffineurs, afin de séparer les fibres. La masse produite est alors épurée, puis lavée dans des cuves spécifiques ; la liqueur résiduaire étant collectée puis incinérée.

Le principal avantage de cette technique est d'obtenir un niveau de qualité de pâte supérieur aux pâtes mécaniques et rendement de production supérieur à celui des pâtes chimiques (80% contre 60%).

Les pâtes chimiques ou même mi-chimiques nous donnent des fibres plus finement séparées donc plus réceptives surtout aux ajouts d'agents d'imprégnation parce qu'elles sont libres des lignines, bien gonflées et plus réactives chimiquement aux imprégnants.

1-8 Conclusion

Des fibres de toutes natures ont été expérimentées dans le renforcement des bétons et des mortiers. A cause des problèmes que présentent les fibres d'amiante sur la santé humaine et du coût de production des fibres industrielles.

Le renforcement des ciments par les fibres végétales est relativement nouveau par rapport à celui des fibres d'amiante ou d'aciers. La caractérisation de ce nouveau composite nécessite alors la multiplication des recherches.

Les fibres végétales ont des caractéristiques variables qui dépendent de type, de l'origine, de l'âge et de l'espèce et cela influence leurs structures et donc leurs compositions chimiques. Les procédés de délignification des végétaux, quand ils sont appliqués d'une manière rationnelle, permettent d'obtenir des pâtes cellulosiques avec des caractéristiques physico-mécaniques appropriées et des rendements en fibres élevés.

Chapitre II

Comportement mécaniques et physiques des
bétons et mortiers des fibres

2-1 Introduction

Le béton est le matériau le plus utilisé dans la construction, grâce à sa facilité de moulage, sa rigidité, sa résistance à la compression et sa tenue au feu. Mais sa fragilité reste un handicap par son comportement mécanique. C'est pourquoi on a recours au renforcement. Ainsi, ce dernier peut être de différentes natures (barre d'acier, câble, fibres....). Le béton sera considéré matrice, les barres d'acier et les fibres seront considérées comme renfort.

Le comportement du matériau composite ainsi obtenue est assez complexe et difficile à cerner parce qu'il dépend de plusieurs facteurs découlant eux mêmes de plusieurs variables telles que :

- Les propriétés des fibres :
 - la nature de la fibre (acier, verre, polymère ou végétale),
 - l'élanement des fibres (l/d)
 - la quantité d'incorporation des fibres.

- Les propriétés de la matrice :
 - la qualité et la quantité de ciment,
 - la qualité et les dimensions de granulats
 - le rapport Eau/Ciment (E/C).

- Le comportement de la bande d'interface :
 - la longueur des fibres.
 - le type de cure
 - le mode de chargement

- Les conditions de la mise en œuvre :
 - la distribution des fibres, leur orientation et leur espacement.
 - le mode de remplissage du béton (pression, vibration).

La complexité des phénomènes mis en jeu dans le fonctionnement du béton de fibres et la sévérité des contraintes qui lui sont appliquées nécessite une bonne précision de sa modélisation.

Dans cet esprit, plusieurs chercheurs [23-24-25] se sont penchés sur l'élaboration de modèles qui peuvent simuler le comportement mécanique du béton de fibres par l'utilisation de lois mathématiques et de méthodes de calcul poussées telles la méthode des éléments finis.

Dans ce chapitre après avoir donné les principales définitions, le mécanisme de renforcement et la composition d'un béton de fibres, nous allons présenter le comportement mécanique général des bétons de fibres et enfin, nous donnerons le comportement à l'interface fibre-matrice.

2-2 Définition d'un matériau composite

Un matériau composite est constitué d'un mélange de plusieurs phases de nature, de structure et de compositions physiques et chimiques distinctes et de propriétés mécaniques variées.

En d'autres termes, un matériau composite est constitué d'une ou plusieurs phases discontinues (renfort) réparties dans une phase continue (matrice) de nature différente [2].

2-3 Mécanisme de renforcement

Le béton non armé est connu pour sa fragilité. Quand il est soumis à des efforts de traction ou de traction par flexion, il se produit une rupture brutale et sans avertissement. Le processus de ruine peut s'expliquer par le fait que dans la matrice de béton existent plusieurs microfissures principalement dues au retrait. Lorsque des efforts de traction se produisent dans cette matrice; il y a élargissement de ces microfissures. Cet élargissement devient rapidement incontrôlable, et on obtient une rupture brutale du béton.

Le principe de renforcement du béton par fibres consiste donc à répartir des fibres dans la matrice du béton. L'ouverture des microfissures sera donc empêchée par ces fibres. En effet, aussi longtemps que l'énergie accumulée est insuffisante pour agrandir les microfissures bloquées, de nouvelles microfissures se formeront dans la matrice et commenceront à s'agrandir jusqu'à ce qu'elles soient bloquées à leur tour. L'élargissement incontrôlé des fissures est donc empêché et au lieu d'avoir quelques larges fissures qui entraîneraient la rupture, on aura plusieurs microfissures.

D'autre part, les fibres peuvent reprendre une partie de la charge entre les lèvres des microfissures, entraînant ainsi une diminution des concentrations d'efforts aux extrémités des lèvres. L'élargissement de la fissure ne peut donc se produire que lorsqu'on a un allongement, un glissement, ou une rupture de la fibre ou encore un effritement de la matrice de béton enrobant la fibre [27].

2-4 Composition et mise en œuvre des bétons de fibres

2-4-1 Composition et maniabilité

Les études faites par GUTT [28] montrent que la baisse de la maniabilité pour un béton de fibres est d'autant plus importante que :

- le pourcentage des fibres est élevé ;
- Le rapport longueur/diamètre est grand (L/d) ;
- Le diamètre du plus gros granulat est grand.

Par ailleurs, DEBICKI [23] constate que l'ouvrabilité est aussi affectée par la souplesse des fibres ainsi que leur orientation dans la matrice. Généralement les fibres souples donnent une ouvrabilité plus grande. La bonne orientation des fibres dans la matrice peut améliorer l'ouvrabilité. Toutefois, les fibres végétales absorbent une partie de l'eau de gâchage, ce qui diminue de façon remarquable l'ouvrabilité des bétons de ce type de fibres. A titre d'exemple, la figure (2-1) met en évidence la quantité d'eau qu'il faut ajouter au mélange de béton de fibre de sisal pour maintenir une ouvrabilité constante [2].

C'est pour cette raison qu'il est nécessaire d'optimiser la composition des bétons de fibres, de sorte à obtenir une ouvrabilité acceptable avec la plus faible quantité d'eau. Pour cela, il faut souvent utiliser un adjuvant, afin de ne pas perdre l'effet bénéfique des fibres.

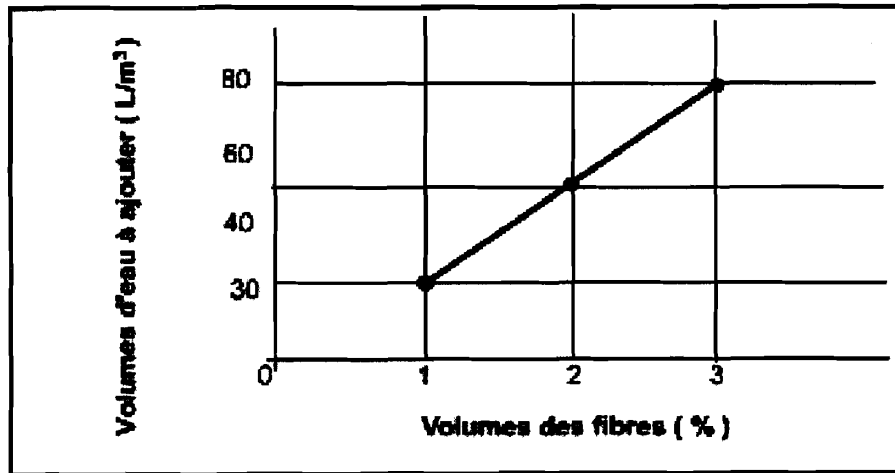


Figure (2-1) : Volume d'eau pour une ouvrabilité constante pour le béton de fibre de sisal [2]

2-4-2 Influence de la géométrie des fibres sur la maniabilité

On a déjà signalé que la maniabilité dépend de l'élançement des fibres. SWAMY et MANGAT [29] ont établi une relation linéaire entre la maniabilité (le temps d'écoulement en VÉBÉ) et l'élançement des fibres d'acier. Ils ont montré que quand l'élançement L/d dépasse 100, il y a risque de concentration de fibres (formation d'oursins), d'où la difficulté de mise en oeuvre du composite.

2-5 Comportements mécanique et physique des bétons de fibres

Le comportement du béton de fibres diffère de celui du béton ordinaire. La nature et le volume des fibres utilisées jouent un rôle déterminant sur la propagation des fissures dans la matrice et améliorent la ductilité du béton.

Mais il faut signaler qu'un volume trop important des fibres peut être la cause d'une mauvaise compacité du béton et donc d'une diminution de sa résistance mécanique.

2-5-1 Résistance à la compression

Plusieurs auteurs confirment que l'ajout des fibres aux bétons n'a aucun effet appréciable sur la résistance à la compression, et peut même entraîner une diminution notable de cette dernière spécialement pour le cas des bétons de fibres végétales [4-30].

Ainsi, SWAMY et al. [4] donnent des résultats de compression très variés et parfois une diminution de la résistance à la compression. Cette baisse est due à une mauvaise mise en œuvre, et/ou à l'excès des fibres dans le béton.

Le comportement et le mécanisme de rupture des bétons de fibres en compression peuvent être liés à la présence des fibres qui fait augmenter le volume des micro fissures, celles-ci se propagent rapidement et entraînent la rupture du matériau [31].

Plusieurs auteurs ont travaillé sur la modélisation de la résistance à la compression des bétons de fibres métalliques. A titre d'exemple nous citons les travaux de LIM et al. [32] qui proposent une loi donnant la relation de la contrainte à la compression (σ_c) en fonction de l'orientation des fibres et de leur longueur comme suit :

$$\sigma_c = \sigma_{mc}(1 - V_f) + n_1 n_0 \sigma_f V_f \quad (2-1)$$

Avec :

σ_{mc} : Contrainte en compression de la matrice

σ_f : Contrainte en traction de la fibre

n_0 : Facteur d'orientation

n_1 : Facteur de longueur

V_f : Volume de fibres

2-5-2 Résistance à la traction

Les fibres ont un rôle très important dans l'amélioration de la résistance à la traction et la limitation de la propagation des fissures du béton de fibres, surtout après l'apparition de la première fissure.

D'après MANGAT [33], l'augmentation de la résistance en traction due aux fibres est variable en fonction de la nature des fibres. Elle peut atteindre 30% pour les fibres résistantes comme les fibres d'acier, elle n'est plus que faible ou nulle lorsque les fibres ont une résistance inférieure comme dans le cas des fibres de polypropylène.

A contrario AGGARWAL [34] a remarqué pendant son étude sur les matrices cimentaires renforcées par les fibres de bagasse que l'adhérence entre les fibres et la matrice diminue lorsque le pourcentage en masse des fibres augmente.

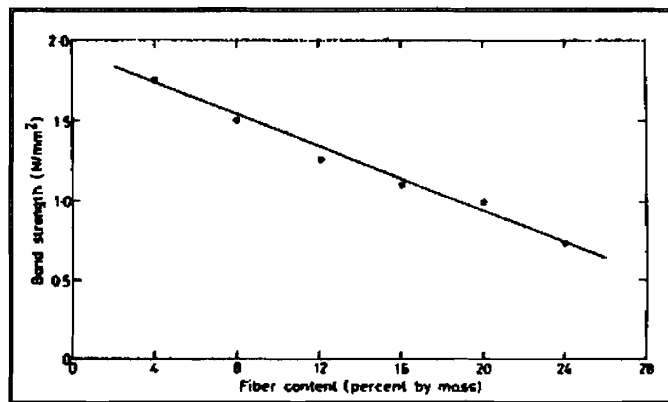


Figure (2-2) : Effet de l'ajout des fibres de bagasse sur l'adhérence entre les fibres et la matrice [34]

D'autres études [35] ont montré que la résistance à la traction augmente avec l'augmentation du volume des fibres de verre dans la matrice. Jusqu'à une valeur maximale, puis elle décroît.

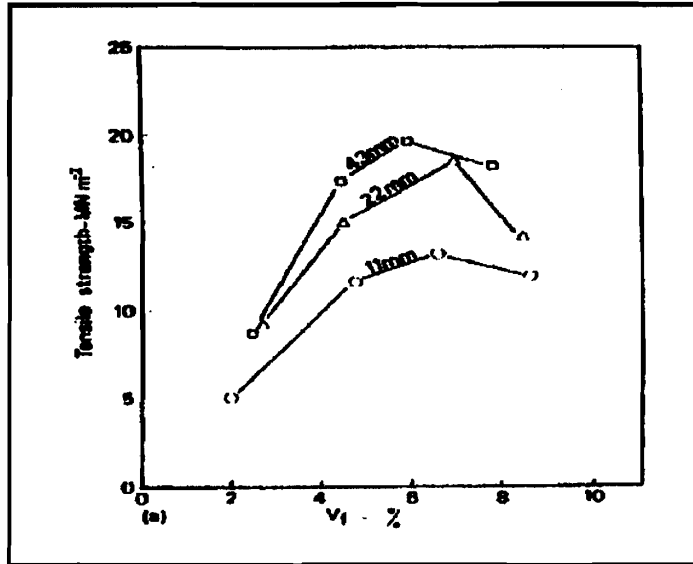


Figure (2-3) : Variation de la résistance à la traction en fonction du % en volume de fibres de verre [35]

Ainsi, ANDONIAN et al. [36], proposent la loi (2-3) qui simule le comportement du béton de fibre de cellulose en traction :

$$\sigma_t = \sigma_{mt}(1 - V_0)(1 - V_f) + \eta \sigma_f V_f \quad (2-3)$$

Avec :

η : Coefficient de rendement des fibres

σ_{mt} : Contrainte en traction de la matrice

V_0 : Volume des vides dans la matrice

V_f : Volume des fibres dans la matrice

σ_f : Contrainte en traction de la fibre donnée par l'équation (2-4)

$$\sigma_f = 2\tau(l/d) \quad (2-4)$$

Avec : τ Contrainte moyenne d'adhérence à l'interface fibre-matrice.

En remplaçant σ_f l'équation (2-3) devient :

$$\sigma_t = \sigma_{mt}(1 - V_0)(1 - V_f) + 2\eta\tau V_f (l/d) \quad (2-5)$$

2-5-3 Résistance à la flexion

Les fibres sont très efficaces dans l'amélioration de la résistance à la flexion et l'énergie de rupture des bétons de fibres. Cependant, le comportement en flexion des bétons de fibres est largement influencé par la nature, le pourcentage et l'orientation des fibres dans la matrice.

COUTTS [37] a étudié l'effet de l'ajout des fibres végétales de Pulpe de Bambou à la pâte de ciment sur la résistance à la flexion. Il a remarqué que cette dernière augmente avec le pourcentage en fibres jusqu'à un optimum, puis elle chute.

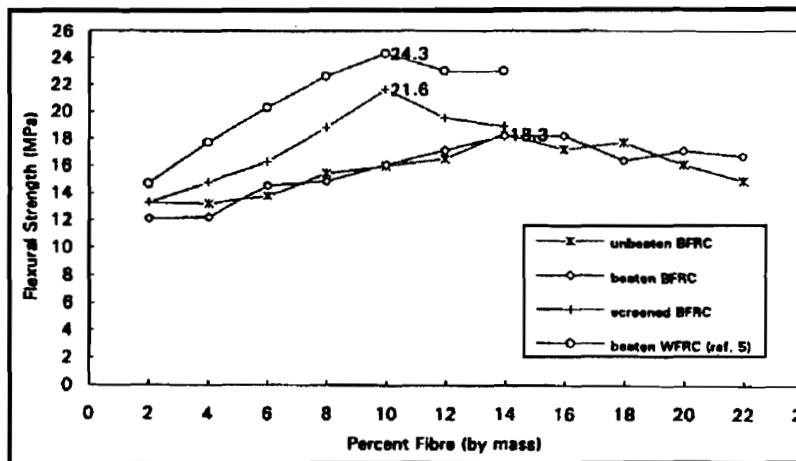


Figure (2-4) : Variation de la résistance à la flexion en fonction du % en masse de fibres d'après COUTTS [37]

D'autres chercheurs [10] ont obtenu des augmentations de résistance en flexion avec les fibres de cellulose qui renforcent les matrices cimentaires, avec une chute après un optimum.

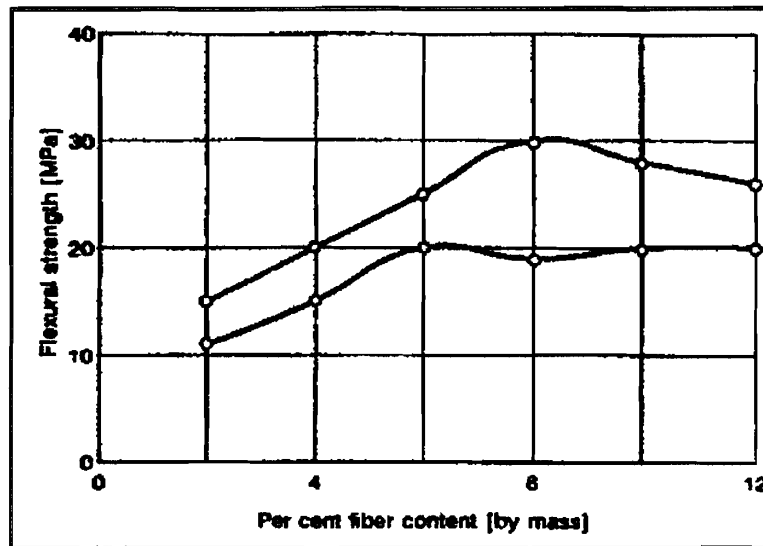


Figure (2-5) : Variation de la résistance à la flexion en fonction du % en masse de fibres d'après HOLMER et VAHAN [10]

AGGARWAL [34] a étudié l'effet de l'augmentation du pourcentage des fibres de bagasse sur la résistance à la flexion des composites cimentaires, il a trouvé que la résistance à la flexion augmente avec l'augmentation du pourcentage en masse des fibres jusqu'à un dosage optimal, au delà duquel elle chute.

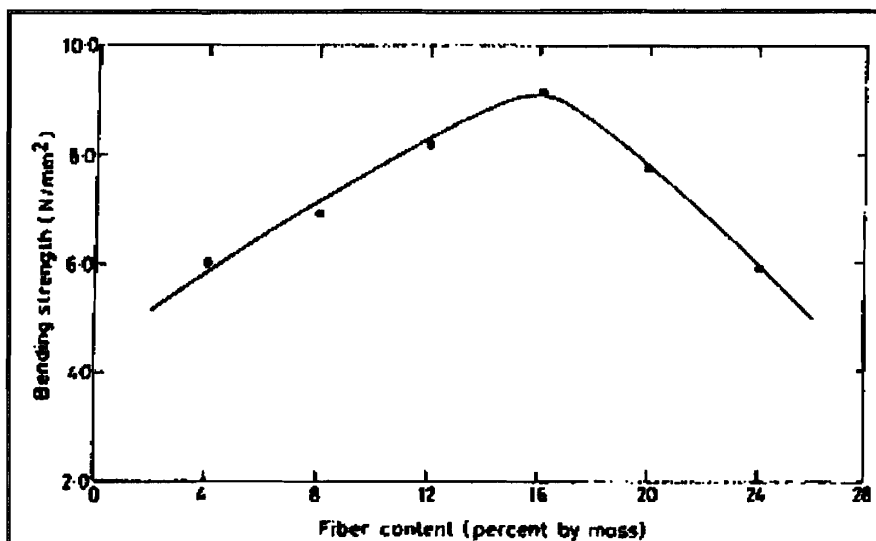


Figure (2-6) : Variation de la résistance à la flexion en fonction du % en masse de fibres de bagasse d'après AGGARWAL [34]

L'augmentation de la résistance en flexion du béton de fibres est très importante. Cette augmentation est due à l'adhésion entre les fibres et la matrice ainsi qu'à la déformabilité du matériau.

2-5-4 Module de Young

Les études faites par ANDONIAN et al. [37] ont justifié l'application des lois des mélanges :

$$E = E_m(1-V_0)(1-V_f) + \xi E_f V_f \quad (2-2)$$

Avec:

E: module de Young du composite;

E_m : module de Young de la matrice;

E_f : module de Young des fibres ;

V_0 : fraction volumique des vides ;

V_f : fraction volumique des fibres ;

ξ : Coefficient de distribution des fibres.

KHENFER et MORLIER [38] ont montré que le module de Young des ciments renforcés avec des fibres de cellulose dépend seulement des modules d'Young des constituants, de leurs volumes et de la distribution des fibres dans la matrice. Il ne dépend pas de la longueur des fibres.

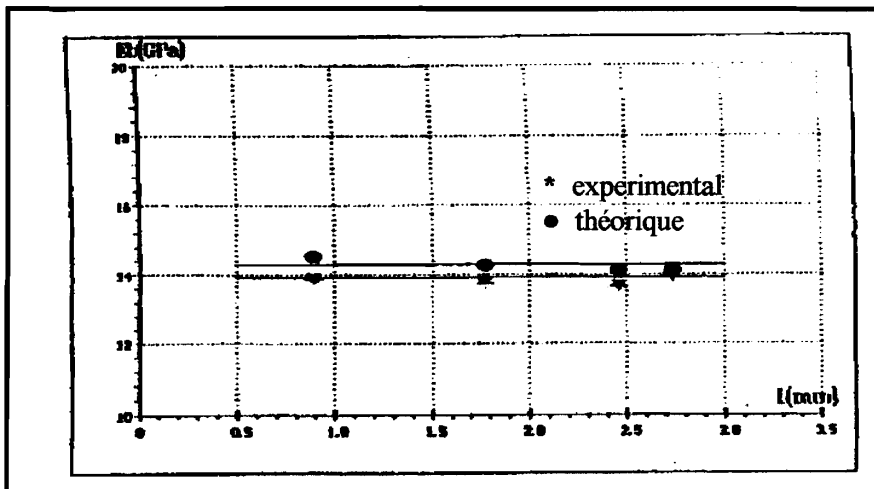


Figure (2-7) : Variation du module de Young en fonction de la longueur des fibres de cellulose [38]

2-5-5 Retrait des bétons de fibres

Plusieurs chercheurs affirment que l'ajout des fibres de toute nature y compris les fibres végétales est bénéfique pour la réduction du retrait du béton [39-4-21-40]. Les chercheurs lient la diminution du retrait hydraulique, à l'accélération du départ d'eau du béton par la présence des fibres métallique [12-14]. En effet, la présence des fibres métalliques dispersées augmente la grosseur des pores de la matrice en diminuant ainsi l'intensité des étreintes capillaires tout en facilitant l'évaporation de l'eau libre. A titre d'exemple SWAMY et STAVRIDES [41] indiquent que l'ajout des fibres d'acier au béton permet de réduire le retrait hydraulique de 20%.

Cependant, certains auteurs [42-43] précisent que la diminution du retrait dépend du type et du dosage en fibres ainsi que de la composition du béton et enfin du régime de conservation.

Par ailleurs, une étude comparative du retrait entamée par RAMASWAMY et al. [4] a montré qu'après 60 jours de conservation à l'air libre, les bétons de fibres de jute et de coco (dosé à 1% en volume) ont présenté un retrait respectivement inférieur de l'ordre de 50 et 70% par rapport au béton classique. A noter qu'avant d'exposer les bétons à l'air libre, ceux-ci sont initialement conservés durant les 21 jours dans une cure humide.

En outre, SOROKA [44] met en évidence que le retrait hydraulique des bétons classiques est souvent amplifié par les conditions climatiques et sèches. Mais il a aussi constaté que dans ce genre de climat, le renforcement des bétons par des fibres d'acier, de verre ou de polymère est efficace pour la réduction du retrait.

En ce qui concerne la modélisation du retrait, dans la littérature, on trouve plusieurs modèles qui prédisent le retrait des bétons de fibres métalliques. A titre d'exemple, nous citons les modèles : ACI 209 [45] et le modèle BP-KX [46], ces deux

modèles donnent la même simulation du retrait pour les bétons ayant une résistance entre 30 à 40 MPa.

Pour le développement des modèles spécifiques pour le retrait des fibres végétales, nous pensons qu'il faut d'abord multiplier les travaux de recherches expérimentales sur le retrait. De plus, il faut introduire d'autres hypothèses, du fait que le comportement des fibres végétales se distingue de celui des fibres d'acier, par la flexibilité et le grand pouvoir d'absorption d'eau.

2-6 Etude de la zone Interfaciale (Fibre-Matrice)

La zone interfaciale (fibre / matrice) est formée d'un film duplex plus ou moins continu de Ca(OH)_2 et de C-S-H (Silicates de calcium hydratés) séparé de la matrice par une zone de transition microporeuse plus ou moins épaisse. C'est au niveau des interfaces fibres-matrice et par l'intermédiaire des contraintes de cisaillement qui s'y manifestent que s'effectue le transfert des efforts de la matrice vers la fibre et inversement. Ce transfert est conditionné en grande partie par la microstructure du matériau au niveau des interfaces et par les liaisons qui s'y développent au cours du processus d'hydratation.

Toutefois l'importance relative des interfaces dans les processus d'arrachement des fibres dépend également de la forme des fibres (qualité de surface, nature de son ancrage dans la matrice ...).

Le comportement mécanique des bétons et mortiers renforcés de fibres dépend donc principalement :

- Des propriétés des fibres elles-mêmes (composition, élancement, forme, texture superficielle, propriétés mécaniques intrinsèques, ...).
- Des propriétés de la matrice.
- Des propriétés des interfaces (fibres-matrice).

La figure (2-8) schématise une courbe effort-déplacement d'un mortier renforcé de fibres. Cette courbe comprend deux domaines principaux :

Le premier correspond au domaine élastique où les déformations de la fibre et celle de la matrice sont compatibles. Son étendue dépend de la nature et de la résistance propre des liaisons hydrates-fibres.

Le second domaine correspond à la nature progressive de l'adhérence au cours de laquelle sont mobilisées des forces de frottement entre la fibre et son empreinte dans la matrice. La résistance au frottement dépend également de la nature et de la quantité d'hydrates résiduels sur la fibre ainsi que de la microstructure de l'empreinte dans laquelle s'effectue le glissement.

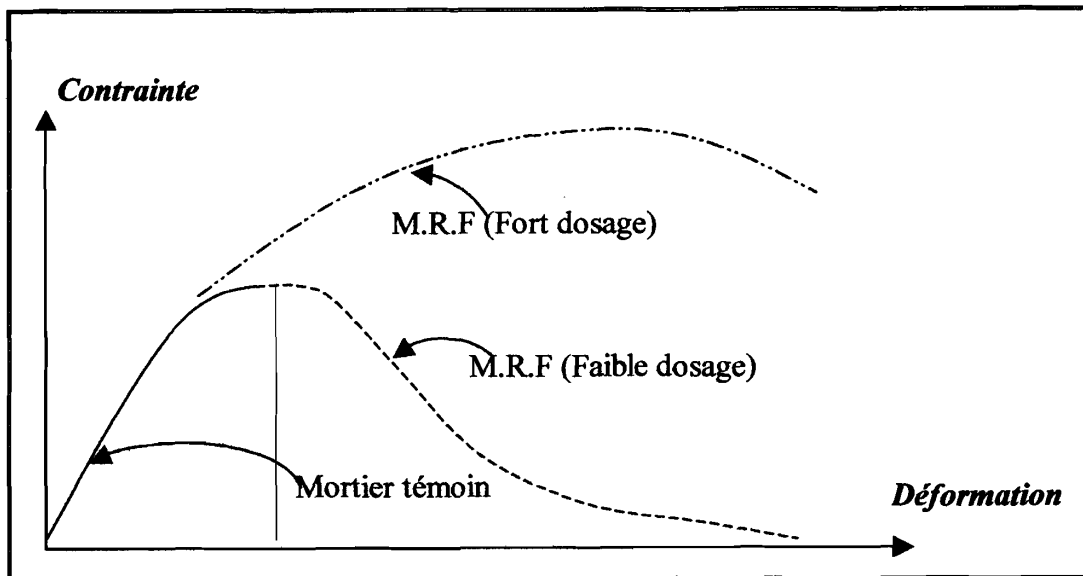


Figure (2-8) : Comparaison des courbes contrainte-déformation d'un mortier classique et d'un mortier renforcé de fibres (MRF) [47]

Afin de quantifier le comportement des interfaces fibres-matrice analytiquement et en se rapprochant de la réalité, le modèle représenté par la figure (2-9) a été proposé sous les deux hypothèses suivantes :

- La matrice est homogène jusqu'au contact de la fibre.
- La fibre cellulosique est un cylindre creux de longueur "l" et de diamètres extérieur et intérieur respectivement "D" et "d".

Pour un élément infinitésimal de longueur (dx) du composite, le transfert des efforts entre la fibre et la matrice se traduit par le schéma décrivant les contraintes $\sigma(x)$ et $\tau(x)$ selon la figure (2.9).

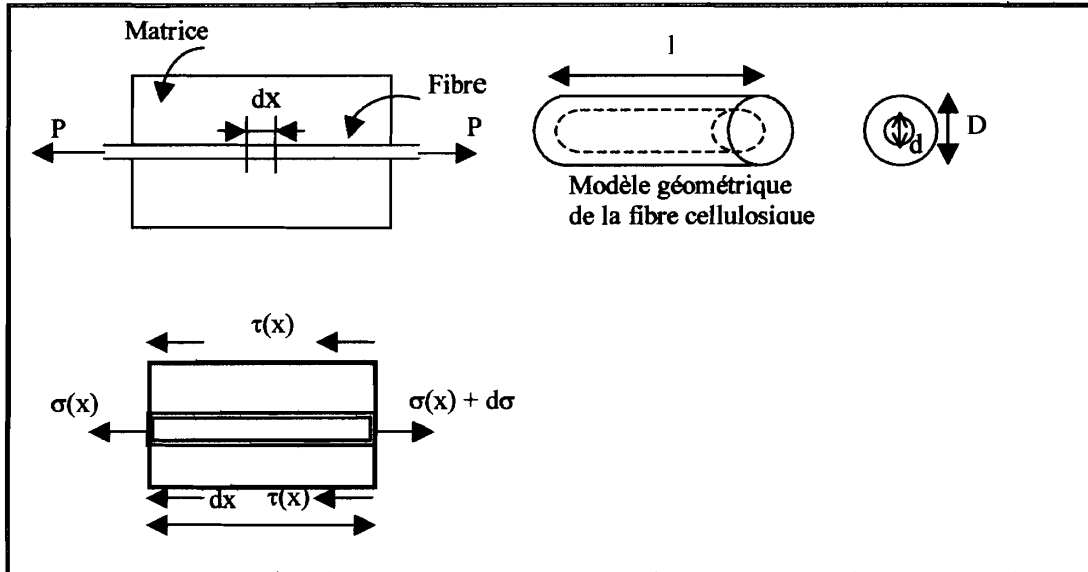


Figure (2-9) : Modèle proposé pour le problème inter-facial fibres-Matrice[48-49]

Une synthèse des travaux de ABSI [48] et VALAD [49] relatifs à l'étude de l'interface matrice-fibre permet de déterminer la résistance en traction des fibres à l'interface comme suit :

$$P = S \cdot \sigma \quad (2-6)$$

Avec S : La section droite pleine de la fibre

D'où :

$$P = \left(\frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \right) \cdot \sigma \quad (2-7)$$

Si l'on différencie on obtient pour un élément infinitésimal de longueur (dx) :

$$dP = \left(\frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \right) \cdot d\sigma \quad (2-8)$$

En phase élastique (à l'équilibre statique)

$$\Sigma F = 0$$

Ceci nous permet d'écrire :

$$\sigma(x) \cdot S + \tau(x) \cdot S_1 = (\sigma(x) + d\sigma) \cdot S \quad (2-9)$$

Où S_l : Surface latérale extérieur de la fibre

D'où :

$$\tau(x) \cdot (\pi \cdot D) \cdot dx = \left(\frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \right) \cdot d\sigma \quad (2-10)$$

Et donc :

$$\frac{d\sigma}{dx} = \frac{4D}{(D^2 - d^2)} \cdot \tau(x) \quad (2-11)$$

Soit :

$W(x)$: l'allongement au point d'abscisse (x).

$\tau(x)$: la contrainte d'adhérence

$\sigma_f(x)$: la contrainte dans la fibre en un point M(x) quelconque

Dans le domaine élastique :

$$\sigma_f(x) = E_f \cdot \varepsilon = E_f \cdot \frac{dW}{dx} = E_f \cdot W' \quad (2-12)$$

Si on dérive par rapport à "x" on obtient :

$$\frac{d\sigma_f(x)}{dx} = E_f \cdot \frac{d^2 w}{dx^2} = E_f \cdot W'' \quad (2-13)$$

D'après les équations (2-11) et (2-13) on peut écrire :

$$\frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot \left(\frac{4 \cdot D}{D^2 - d^2} \right) \cdot \tau(x) = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot E_f \cdot w''$$

$$\text{Donc : } \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \cdot \frac{d\sigma_f}{dx} = \pi D \cdot \tau(x) = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \cdot E_f \cdot w'' \quad (2-14)$$

Si on suppose que (τ) est proportionnelle à l'allongement (w) soit :

$$\tau(x) = k \cdot w(x) \quad (2-15)$$

Alors l'équation (2-14) devient :

$$\pi D \cdot K \cdot w = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot E_f \cdot w''$$

Donc :

$$w'' = \frac{4 \cdot D \cdot K}{(D^2 - d^2) \cdot E_f} \cdot w \quad (2-16)$$

Si l'on admet, aussi que τ est constante suivant x soit:

$$\tau(x) = \tau_{fu} \quad \text{avec } \tau_{fu} : \text{Résistance limite de frottement}$$

On aura donc :

$$w'' = \frac{4 \cdot D \cdot \tau_{fu}}{(D^2 - d^2) \cdot E_f} \quad (2-17)$$

Avec:

$w(x)$: allongement au point d'abscisse x de la fibre.

$\tau(x)$: contrainte d'adhérence.

E_f : module d'élasticité de la fibre.

$$W'' = \frac{d^2 w}{d^2 x}$$

Vu l'analyse très complexe de répartition réelle de la contrainte d'adhérence pour les bétons de fibres, τ_{fu} est généralement pris égale à τ_{au} la résistance ultime d'adhérence.

On considère le cas d'une fissure centrale de longueur l , dont le mécanisme est présenté dans la figure (2-10). Avec σ_{fu} : contrainte ultime de traction de la fibre.

$$\pi \cdot D \cdot \tau_{fu} \cdot \frac{l}{2} = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \cdot \sigma_{fu} \quad (2-18)$$

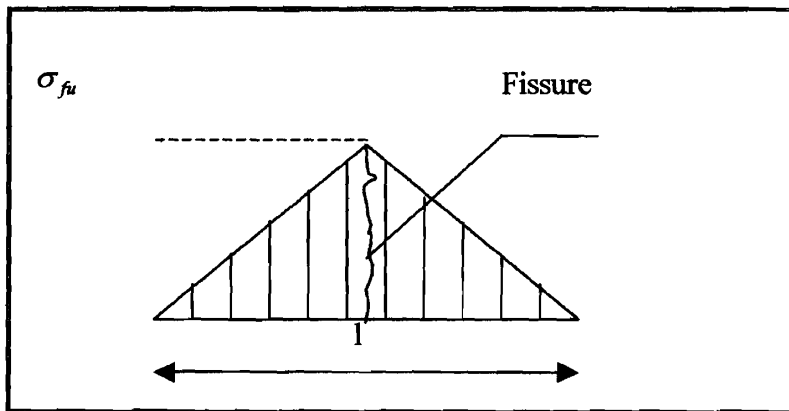


Figure (2-10) : Répartition des efforts de traction de part et d'autre d'une fissure centrale d'une fibre de longueur" l " [48-49]

Donc :
$$\tau_{fu} = \frac{\alpha}{l} \cdot \sigma_{fu} \tag{2-19}$$

Avec:

$$\alpha = \frac{(D^2 - d^2)}{2D}$$
 et qui dépend de la section creuse de la fibre

Suivant la longueur d'ancrage des fibres dans la matrice on aura :

- Une rupture de la fibre par fracture si : $\tau_{fu} > \frac{\alpha}{l} \cdot \sigma_{fu}$
- Une rupture par arrachement (glissement) si :

$$\tau_{fu} < \frac{\alpha}{l} \cdot \sigma_{fu} \text{ avec } \tau_{au} = \frac{\alpha}{l} \cdot \sigma_{fu}$$

La figure 2-12 résume le comportement d'adhérence fibre-matrice pour $\tau_{fu} < \tau_{au}$

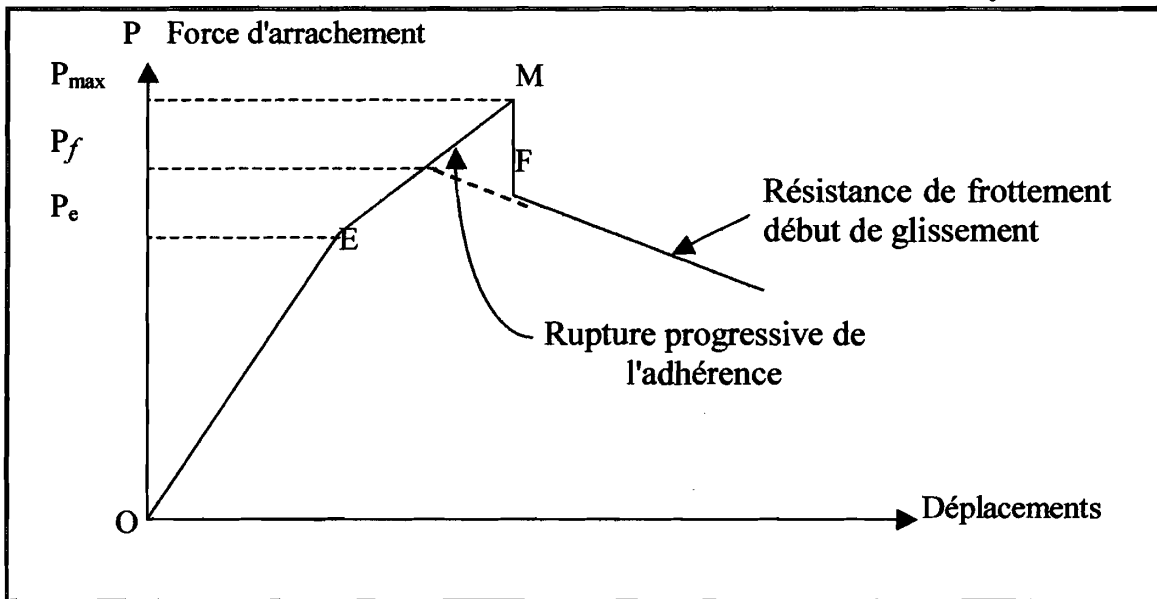


Figure (2-11) : Aspect de la courbe de la force d'arrachement (P) en fonction de la déformation suivie de glissement $\tau_{fu} < \tau_{au}$ [48-49]

2-7 Ductilité des bétons de fibres

L'incorporation de petites fibres dans le béton permet d'apporter d'importantes améliorations à la nature fragile du béton. En effet et comme représenté schématiquement sur la figure (2-13), on constate une importante augmentation de l'allongement à la rupture et une amélioration de la résistance à la rupture. Cependant,

la différence entre les deux comportements n'est appréciable qu'au delà de la première fissuration ou limite de proportionnalité.

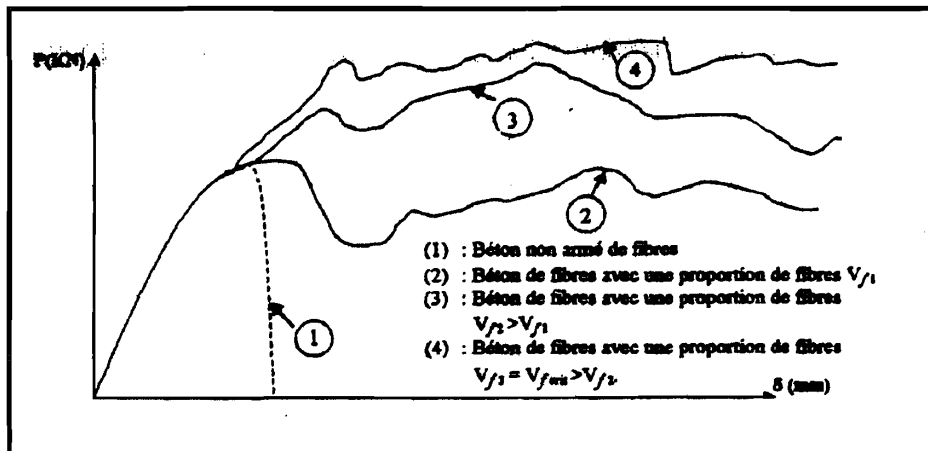


Figure (2-12) : Diagramme (charge-déformation) après essai de flexion, [27]

Comme nous l'avons montré précédemment, le renforcement du béton par les fibres permet d'augmenter sa résistance à la flexion et de diminuer sa fragilité. Le matériau composite devient un matériau ductile. Cependant, comme le mentionne la bibliographie le comportement ductile des bétons de fibres n'apparaît qu'après la première fissure. En effet, avant la première fissuration le comportement des bétons de fibres est similaire au comportement du béton classique, et l'addition des fibres n'augmente que très légèrement la charge correspondant à la première fissure [27].

La ductilité des bétons de fibres est souvent exprimée par des indices de ductilité. La détermination de ces indices est généralement donnée en fonction de l'énergie de rupture qui n'est que la surface limitée par la courbe effort-flèche. En fait, selon la norme suivie on distingue plusieurs indices de ductilité. Cependant, il est important de mentionner que les indices proposés par les normes que nous allons exposer dépendent de la taille de l'échantillon utilisé ainsi que du type et du mode de chargement.

Ainsi, l'association ACI se base sur le diagramme charge-flèche de la figure (2-14) (a), pour définir la ductilité par deux indices (I_i et I_{ACI}) comme suit :

$$I_i = \frac{\text{aireOABF}}{\text{aireOAKL}} \quad (2-21)$$

$$I_{ACI} = \frac{\text{aireOABEG}}{\text{aireOAJ}} \quad (2-22)$$

La norme ASTM-C 1018, qui se base sur le diagramme charge-flèche de la figure (2-14) (b), propose de déterminer les indices de ductilité I_5 , I_{10} , I_{30} comme suit :

$$I_5 = \frac{\text{aireOABCI}}{\text{aireOAJ}} \quad (2-23)$$

$$I_{10} = \frac{\text{aireOABDH}}{\text{aireOAJ}} \quad (2-24)$$

$$I_{30} = \frac{\text{aireOABEG}}{\text{aireOAJ}} \quad (2-25)$$

Par ailleurs, BANTHIA et DUBEY [50], dans le but d'éliminer l'instabilité du système, ont développé une nouvelle technique RSTM (Residual Strength Test Method) récemment adoptée par ASTM-C 1399. Cette technique adopte le même mode de chargement et le même type d'éprouvette définie par les normes ASTM-C 1018 en flexion quatre points, mais elle ajoute les modifications suivantes :

1. on place une plaque métallique d'épaisseur 12 mm, entre l'éprouvette et les appuis inférieurs. Cette plaque permet l'absorption de l'énergie libérée par la machine lors du développement de la première fissure. Elle permet au couplage global d'être maintenu juste après la charge maximale en limitant l'ampleur de l'ouverture de la fissure
2. on place un capteur de déplacement muni d'un dispositif qui permet de déterminer le déplacement vertical net de l'éprouvette.
3. on charge, jusqu'à ce que le déplacement net de l'éprouvette soit compris entre 0.25 et 0.5 mm.
4. on décharge et on retire la plaque.

5. l'éprouvette fissurée est rechargée. On note les charges $P_{0.5}, P_{0.75}, P_{1.0}, P_{1.25}$ correspondant respectivement aux déflexions 0.5, 0.75, 1.0 et 1.25. la contrainte résiduelle (CR) est donnée par l'équation (2-26).

$$CR = \frac{L}{bh^2} \left[\frac{P_{0.5} + P_{0.75} + P_{1.0} + P_{1.25}}{4} \right] \quad (2-26)$$

Avec : L, Pet h respectivement, la portée, la largeur et la hauteur de l'éprouvette.

Enfin, l'indice de contrainte résiduelle est défini par l'équation (2-27) :

$$I_{CR} = \frac{CR}{MOR} * 100 \quad (2-27)$$

Avec : MOR : le module de rupture en flexion.

La technique (RSTM) est recommandée pour les BF à faible dosage en fibres.

Tandis que, les normes Japonaises JCI-SF4 et JSCE-SF4, pour le cas du chargement donnés par la figure (2-14) (c), définissent la ductilité T_{JCI} comme étant l'énergie nécessaire pour avoir une déflexion centrale (δ_{150}) équivalente à (L/150). La contrainte moyenne de flexion σ_f après fissuration peut être déterminée comme suit :

$$\sigma_f = \frac{T_{jci} \cdot L}{\delta_{150} b h^2} \quad (2-28)$$

La norme AFNOR P18-409, pour le cas du chargement donné par la figure (2-14)(d), détermine en premier lieu les charges $P_{0.7}, P_{1.4}$ et $P_{2.8}$ correspondant respectivement aux déflexions 0.7, 1.4 et 2.8 ainsi que la charge P_0 qui correspond par définition au maximum de la courbe charge-flèche située à gauche d'une parallèle à la partie linéaire montante de cette dernière, parallèle tracée à 0.05 mm de la flèche.

La ductilité est par la suite définie par trois indices $D_{0.7}, D_{1.4}$ et $D_{2.8}$, donnés respectivement par les équations (2-29 à 2-31). La déflexion nette est mesurée par deux capteurs de déplacement fixés sur support s'appuyant sur l'éprouvette elle-même.

$$D_{0.7} = \frac{P_{0.7}}{P_0} \quad (2-29)$$

$$D_{1.4} = \frac{P_{1.4}}{P_0} \tag{2-30}$$

$$D_{2.8} = \frac{P_{2.8}}{P_0} \tag{2-31}$$

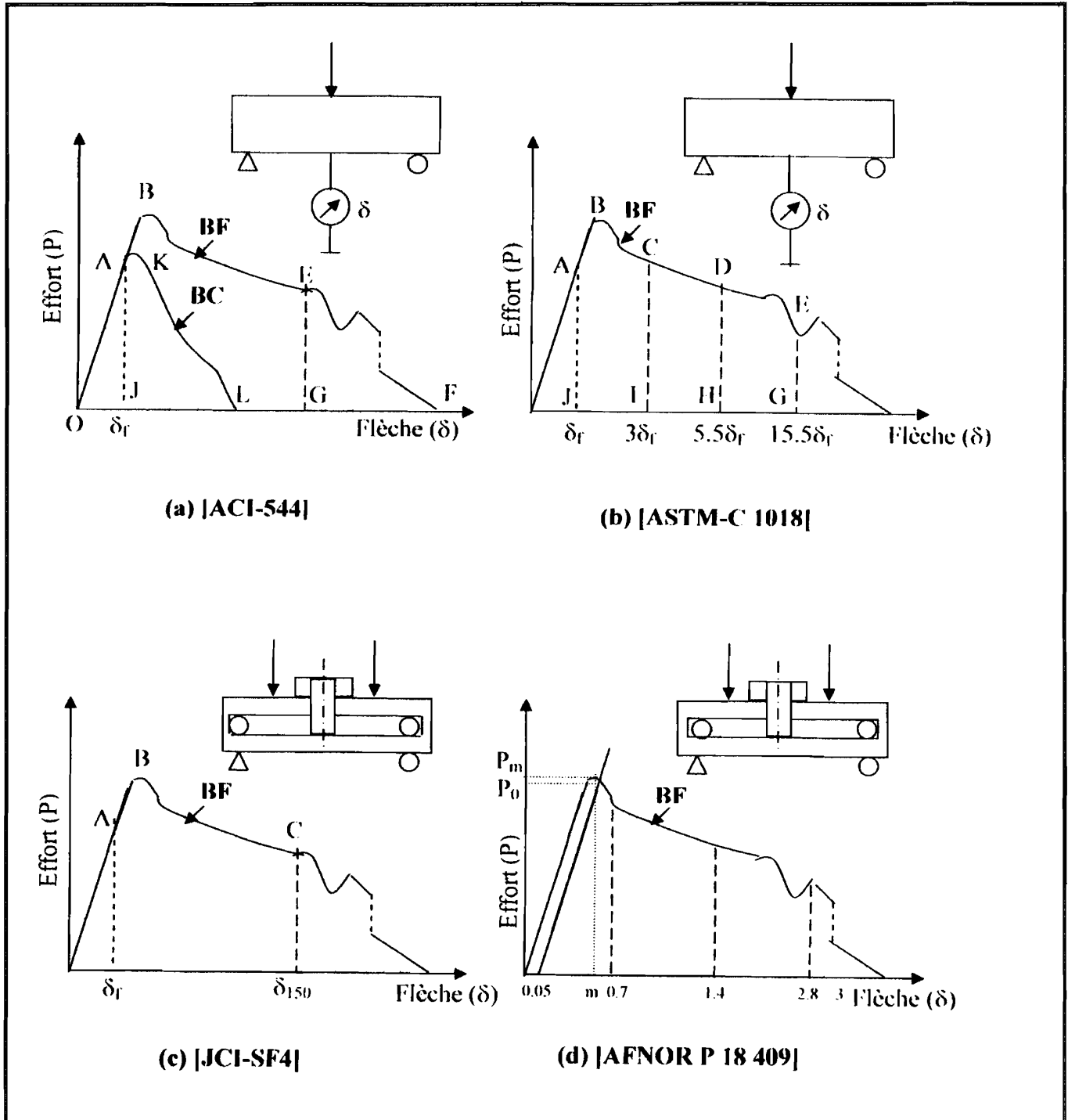


Figure (2-13) : Diagrammes (flèches-efforts) des BF en flexion

BC : Béton classique sans fibre.

BF : Béton avec fibre.

P_m : La charge maximale correspondant à déflexion m.

Les résultats de TOLEDO FILHO et al [51] relatifs aux mortiers des fibres de sisal et noix de coco dont la composition est donnée par le tableau (2-1), montrent que l'ajout de fibres améliore la résistance à la flexion et la ductilité, et nous constatons aussi que l'augmentation de la longueur des fibres et l'alignement (composition M1S2S et M1C2S1) contribuent à l'amélioration des propriétés de flexion.

Tableau (2-1) : Propriétés de flexion ($\sigma_0, \sigma_f, T_{JCI}$ et les coefficients de ductilités D_n) des mortiers de fibres de sisal et noix de coco conservés durant 28 jours dans l'eau , [51-13]

Composition	Type De fibre	Longueur fibres mm	Répartition des fibres	σ_0 Mpa	σ_f Mpa	T_{JCI} KNmm	$D_{0.5}$	$D_{1.0}$	$D_{1.4}$	$D_{2.5}$
M1S32S	Sisal (S)	25	Aléatoire	5.47	6.09	0.83	0.63	0.81	1.00	1.01
M1S2S	Sisal (S)	25+375	Aléatoire+ aligné	6.11	7.51	0.99	0.88	0.89	0.94	1.08
M1C32S	Coco (C)	25	Aléatoire	4.96	5.85	0.83	0.99	0.84	0.79	1.01
M1C2S1	C+S	25+375	Aléatoire+ aligné	5.69	7.42	0.99	0.99	0.99	1.04	1.11

2-8 Conclusion

Les bétons ou mortiers de fibres possèdent plusieurs avantages tels que une bonne résistance à la fissuration et à la traction, ainsi qu'une bonne ductilité. Par ailleurs, la résistance à la compression est généralement inférieure à celle du béton ou mortier classique, mais elle peut être légèrement améliorée par une bonne orientation des fibres dans la matrice.

Il existe plusieurs lois qui modélisent le comportement de bétons de fibres d'aciers sous différents types de sollicitations, traction, compression ou flexion. Ce n'est pas le cas pour les fibres végétales d'où la nécessité de développer des lois qui interprètent le comportement des fibres végétales.

En outre, le comportement du matériau composite est différent de celui de bétons classiques et nécessite une amélioration des méthodes d'essais traditionnelles, ainsi que le développement de nouveaux procédés d'expérimentation.

Chapitre III

Durabilité des bétons et
mortiers de fibres

3-1 Introduction

Dans les matériaux composites à matrice cimentaire, le renfort (fibre) doit non seulement améliorer la résistance après fissuration, mais aussi présenter une bonne durabilité dans diverses ambiances.

Comme les propriétés du composite doivent présenter une durée de vie acceptable, compte tenu de sa destination, la fibre utilisée dans le béton doit être avant tout mécaniquement, physiquement et chimiquement compatible avec les constituants de la matrice (béton ou mortier) et en particulier avec le ciment. Elle doit conserver ses propriétés dans le temps et être d'un coût acceptable compte tenu des performances qu'elle confère à la matrice.

Plusieurs chercheurs [30-37-52] révèlent que la plus part des fibres végétales résistent mal aux alcalis. La faible tenue de ces fibres dans les milieux alcalins, en particulier dans la chaux libérée par les ciments lors de l'opération d'hydratation, constitue une contrainte qui limite le champ d'utilisation de ces fibres dans les bétons. Ce phénomène se manifeste au niveau de la fibre soit par sa détérioration soit par l'altération de sa résistance à la traction.

La durabilité à long terme des bétons de fibres végétales est un problème inévitable. Il n'est pas facile d'y répondre simplement et rapidement, car si on connaît bien en général le comportement de chaque élément constitutif (béton et fibres) et les réactions entre eux sont souvent mal connues.

3-2 Durabilité des fibres végétales

La durabilité des fibres végétales dans les matrices cimentaires est un problème inévitable car la composition chimique des fibres et celle du ciment ne sont pas compatibles. L'alcalinité du milieu cimentaire attaque la cellulose des fibres végétales.

La durabilité des bétons renforcés des fibres végétales dépend de plusieurs paramètres parmi lesquels :

- nature de la matrice;
- nature des fibres;
- nature du milieu de conservation.

La durabilité à long terme des bétons de fibres en général est un problème inévitable qui se pose aux fabricants et aux utilisateurs. Elle dépend de la nature et du traitement des fibres [5-30-53-56], de la qualité des ciments utilisés [15-30], ainsi que du mode de conservation [56].

Plusieurs essais, effectués à long terme sur les résistances à la traction et la flexion des bétons de fibres d'acier et de polymère, révèlent que ces types de bétons présentent une bonne durabilité dans les milieux sec ou humides. De plus, les fibres d'acier ou de polymère sont chimiquement inertes vis-à-vis des alcalis du ciment [39-52-]. Cependant, la résistance en traction et au choc des bétons de fibres de verre diminue avec l'âge [52].

Par ailleurs, plusieurs chercheurs [5-30-53-56] ont montré que les performances mécanique des bétons de fibres végétales en l'occurrence sa résistance à la flexion chute à long terme spécialement dans des environnements cyclique (sec/humide). Cette chute est due principalement à la cristallisation des fibres par les produits d'hydratation alcaline.

En effet, avec le temps, la formation des produits d'hydratation alcalines autour des fibres et pénétration d'une partie de ces produits dans leurs pores provoquent une dégradation dans la section des fibres et une diminution de leurs résistances et de leur élasticité. De ce fait, les fibres deviennent moins résistantes et de plus en plus fragiles. Par la suite le béton de fibre deviendra faiblement résistant et moins ductile.

Actuellement, l'amélioration de la durabilité des fibres végétales constitue un axe de recherche important et la plupart des chercheurs utilisent plusieurs procédés qui se basent soit sur le traitement de l'état de surface des fibres soit sur le traitement de la

matrice. C'est un peu la démarche qui avait été suivie pour améliorer les performances des fibres de verre dans les années 60-70.

Pour donner une idée du phénomène, la figure (3-1) montre la chute de la résistance à la traction en fonction du temps d'immersion dans une solution de chaux de pH11.5 [30]

De même, les résultats de BENTUR et AKERS [53] montrent la faible tenue de ces fibres aux alcalis. Ils attribuent cette chute de la résistance à la traction et du module d'élasticité, à la cristallisation des fibres suite aux dépôts de chaux à la surface des fibres ainsi qu'à la pénétration de ces derniers dans les pores des fibres. De ce fait, les fibres deviennent très fragiles et peu résistantes.

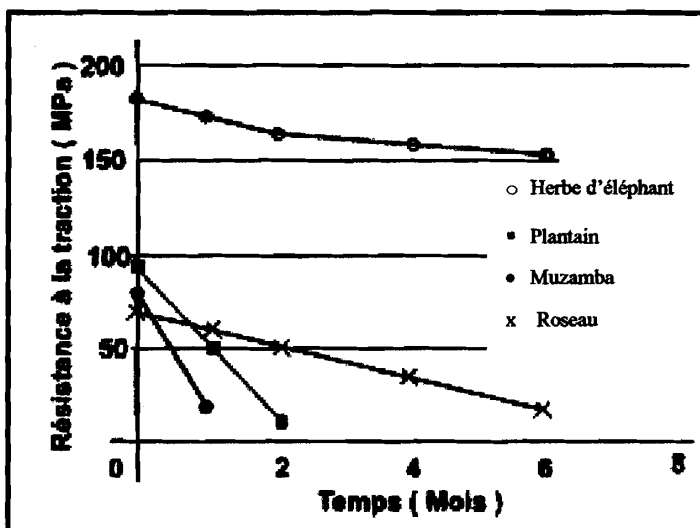


Figure (3-1) : Chute de résistance à la traction de quelques fibres végétales en fonction du temps d'immersion dans la solution de chaux de pH 11,5 [30]

TOLEDO et al. [51] ont étudié l'effet des cycles de séchage-mouillage sur la charge de rupture des matrices cimentaires renforcées par des fibres végétales de sisal et de coir. Ils ont remarqué que la charge de rupture diminue avec le temps, en particulier la résistance des fibres (après fissuration de la matrice) après un certain nombre de cycles de séchage-mouillage (voir figures 3-2, 3-3).

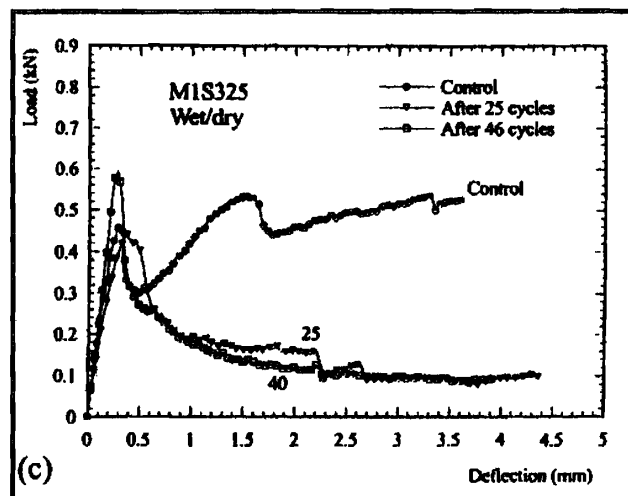


Figure (3-2) : Effet des cycles de séchage-mouillage sur la charge de rupture pour les matrices renforcées par les fibres de sisal [51]

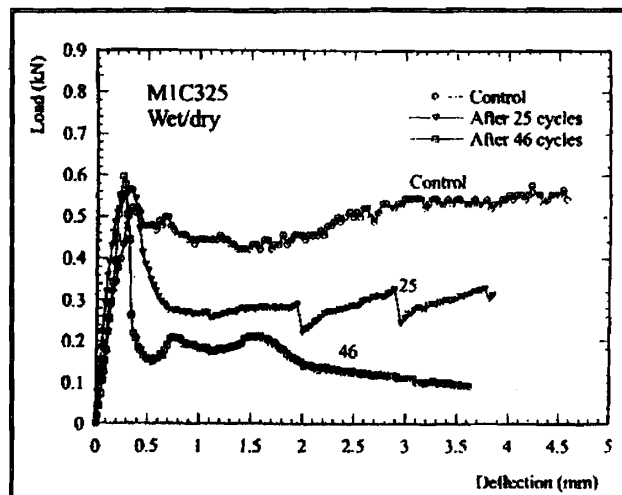


Figure (3-3) : Effet des cycles de séchage-mouillage sur la charge de rupture pour les matrices renforcées par les fibres de coco [51]

On voit bien à travers ces exemples à illustrés par les figures 3-2 et 3-3, que le matériau perd sa ductilité après des cycles de séchage –mouillage.

KHENFER [54] a étudié la durabilité des ciments autoclavés renforcés de fibres cellulosiques dans différents milieux hygrométriques. Il a constaté que :

1. pour les éprouvettes conservées à l'air ambiant du laboratoire, le module de Young et la résistance à la flexion sont presque inchangés, par contre la rupture est devenue de plus en plus fragile (diminution de l'énergie de rupture).

2. pour les éprouvettes conservées dans l'eau, on a diminution du module de Young et de la résistance à la flexion. Par contre, l'énergie de rupture des éprouvettes a augmentée, c'est-à-dire qu'il y a amélioration de la ductilité du composite.
3. pour les éprouvettes soumises aux cycles de séchage-mouillage, les propriétés mécaniques diminuent quelque peu à partir des 10 premiers cycles.

3-3 Traitement de fibres et matrice

Il est donc important de prendre ce problème de durabilité en charge et de trouver des solutions techniques pour y remédier. Ainsi, pour l'amélioration de la durabilité des bétons de fibres végétales, plusieurs chercheurs suggèrent un traitement séparé ou simultané des fibres ou de la matrice.

Etant donné que certaines fibres se décomposent dans le temps, plusieurs chercheurs se sont penchés sur ce problème et ont fini par mettre en évidence un remède qui consiste en l'utilisation de certains additifs organiques dans le but d'imperméabiliser ces fibres pour les protéger de la présence d'eau [57].

Par ailleurs, l'utilisation d'additifs chimiques à caractère acide dans le béton, a pour objectif de produire une réaction avec les composants alcalins du ciment portland et de réduire leurs concentrations. Ainsi, une augmentation de résistance à la flexion d'un mortier classique avec ces additifs, sans qu'il subisse un traitement thermique, a été observée lors d'essais menées par M.F CANOVAS et al [57].

3-3-1 Le traitement de l'état de surface des fibres

Les principales méthodes utilisées dans le traitement de l'état de surface des fibres sont :

- blanchissement par imprégnation des fibres dans des solutions chimiques comme le silicate de sodium [15]

- imperméabilisation des fibres par des produits comme les résines de synthèse ou les bitumes protégeant ainsi la surface de ces dernières contre l'attaque des alcalis libérés par les ciments lors de l'hydratation [30]
- la combinaison des deux méthodes précédentes. Cette méthode a donné les résultats les plus satisfaisants [30]

3-3-2 Le traitement de la matrice

L'une des méthodes les plus utilisées est la réduction de l'alcalinité de la matrice. Elle est possible par les techniques suivantes :

- l'utilisation d'un ciment ayant une faible teneur en alcalis tels que la chaux lors de sa réaction d'hydratation. Ainsi plusieurs chercheurs préconisent le remplacement d'une partie de CPA par l'ajout de laitier, de cendres volantes ou bien de produits pouzzolaniques. A titre d'exemple nous citons les travaux de MOKHTARI [30] et LEWIS-PREMAL [10]. Cependant, seuls les produits à base de pouzzolane naturelle, tels que la méta kaolin, ont contribué à l'amélioration de la durabilité.
- la carbonatation de la matrice par le gaz carbonique. L'objectif de cette technique est de réduire le taux de chaux libérée lors des premiers jours d'hydratation [51].
- la combinaison des deux précédentes méthodes.

Nous constatons, toutes ces méthodes visent l'augmentation de la durabilité des fibres végétales dans les milieux alcalins qui peuvent être utilisées séparément ou en combinaisons. A titre d'exemple TOLEDO FILHO et al [51] ont constaté qu'une combinaison entre les deux méthodes a nettement amélioré la durabilité des fibres dans la matrice.

3-4 Conclusion

La durabilité des bétons de fibres de polymères et d'acier est acceptable, celle des bétons de fibres de verre ou végétales sont fortement affectées par les alcalis de la matrice, en conséquence la résistance du composite chute avec le temps.

Les problèmes de durabilité sont très complexes et nécessite la multiplication des recherches pour améliorer la durabilité des fibres végétales vis-à-vis des alcalis par le traitement séparé ou simultané de la surface.

Dans le présent travail, nous allons utiliser un type de fibre naturelle locale (fibre alfa) dans le mortier. Dans le but de valoriser cette ressource naturelle et remédier aux problèmes de durabilité nous allons envisager l'imprégnation de ces fibres par la colophane et le gasoil.

Chapitre VI

Identification des matériaux
et
préparation des mortiers de fibres

4-1 Introduction

Le mortier de fibres végétales est un matériau composite relativement nouveau, se composant de deux matériaux non homogènes à savoir le mortier et les fibres végétales, ce qui rend sa caractérisation plus difficile.

Les qualités fondamentales du mortier de fibre sont largement influencées par divers facteurs tels que, la composition : le dosage, les dimensions des fibres, la nature des fibres et le malaxage.

On envisagera dans ce chapitre la caractérisation de la fibre végétale d'alfa, la caractérisation des matériaux entrant dans la composition des mortiers de fibres ainsi que les propriétés physico-chimiques des imprégnants tels que la colophane et le gasoil qui seront utilisés dans l'étude.

Nos essais consisteront à étudier l'influence du dosage des fibres, ainsi que l'effet du traitement sur la durabilité. Cette étude consistera en des sollicitations d'éprouvettes en compression et en traction par flexion. Le phénomène de retrait sera également analysé ainsi que la conductivité thermique.

Les étapes de préparation des fibres sont :

- Collecte d'alfa (cueillette, dépoussiérage),
- Préparation du végétal (coupe en brindilles),
- Préparation de la pâte (macération).

4-2 Caractérisation et analyse de la fibre végétale d'alfa

4-2-1 Présentation de la fibre d'alfa utilisée dans l'étude

Les essais seront menés sur un matériau composite mortier-fibre. Les fibres qui seront utilisées sont des fibres végétales. La fibre d'alfa est retenue pour des raisons de disponibilité et d'économie.

Nous précisons que l'alfa « *Stipa Tennacissima L* » utilisé dans notre étude provient de l'Ouest de l'Algérie. Le végétal croit naturellement sans apport de traitement sylvicole particulier.

4-2-2 Préparation du végétal

Le végétal sera utilisé dans les mêmes conditions que ceux de l'entreprise de papeterie CELPAP de Baba Ali (coupé et dépoussiéré).

Le végétal destiné aux essais est coupé en brindilles de longueur moyenne (4,5-4,75) cm et conservé dans une salle de laboratoire de façon à ce que l'humidité soit contrôlée.

Afin d'utiliser les fibres d'alfa, une phase de défibrage qui consiste en la préparation d'une pâte cellulosique est nécessaire. Le comportement de la fibre sera dicté par la composition chimique du végétal.

4-2-3 Analyse des matières organiques

Aussi nous avons procédé à l'analyse de ce dernier, celle-ci a été réalisée au laboratoire de l'Institut National des Industries Manufacturières (INIM) de Boumerdes et a donné les proportions de cellulose, d'hémicellulose et de lignine illustrées sur le tableau (4-1). On constate que les fibres d'alfa présentent un taux en cellulose relativement faible par rapport à celui des fibres de sisal (Tableau 1-3). Comme la cellulose est l'élément essentiel du point de vue résistance, on peut donc supposer que l'alfa donnera de moins bons résultats que cette dernière.

Tableau (4-1) : Compositions chimiques du végétal préconisé pour l'étude

Composants	Proportions en (%)
Cellulose	43.81
Hémicelluloses	28.00
Lignines	18.76
Taux de silice	01.06
Taux de cendres	03.66
Substances extractibles à l'eau	04.70
Humidité	10.20

4-2-4 Analyse des matières minérales

L'analyse minérale des cendres de la fibre d'alfa, par la technique appelée "fluorescence X" au centre de recherche de développement (CRD) de Boumerdes, a donné les résultats illustrés dans le tableau (4-2).

Tableau (4-2) : Analyse minéralogique de fibres d'alfa

Eléments	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	PF (Perte au feu)
%	34,13	6,57	4,64	2,51	1,47	1,31	47,5

Nous constatons que les fibres d'alfa contiennent un taux remarquables de SiO₂ et de CaO. La présence de ces dernières dans l'alfa est due à la fixation des poussières des vents de sable sur la cuticule.

4-2-5 Préparation de la pâte

La préparation des fibres d'alfa a été faite selon le procédé mi-chimique (macération à froid).

Ce procédé consiste à traiter un échantillon du végétal (environ 1000 grs d'alfa), d'une humidité déterminée de 10% dans une solution de soude caustique NaOH (20%-25%) pendant 48 Heures, qui a pour effet la libération des fibres des substances incrustantes (lignines, hémicelluloses, pectines...).

Les paramètres influant sur le comportement sont la durée de macération et la concentration du délignifiant NaOH qu'on traite à température ambiante (25°C).

Les réactions chimiques entraînent le gonflement du végétal qui facilitera par la suite l'élimination de la lignine. Ceci permettra une bonne réception des agents de traitement qu'on prévoit d'ajouter ultérieurement à la pâte.

L'avantage que présente la macération à froid est le fait que l'hydrolyse des hydrates de carbone de la cellulose est presque absente. Ce procédé permet ainsi de préserver les propriétés mécaniques.

La durée de macération peut être réduite par une élévation de température (40° à 50°C) et on résout le problème du temps.

4-2-6 Biométrie des fibres

Les dimensions des fibres, et spécialement la longueur, est largement liées à la qualité de la pâte. G. JANIN et J. MORY [58] affirment même que l'un des problèmes majeurs posés par l'emploi des pâtes à papier est la connaissance précise de la composition fibreuse du point de vue répartition de la longueur des fibres.

C'est d'ailleurs dans ce but qu'ils réalisèrent en 1982 un premier prototype permettant de mesurer individuellement la longueur des fibres en suspension dans l'eau, et qu'ils désignèrent par « Histofibre » [59]

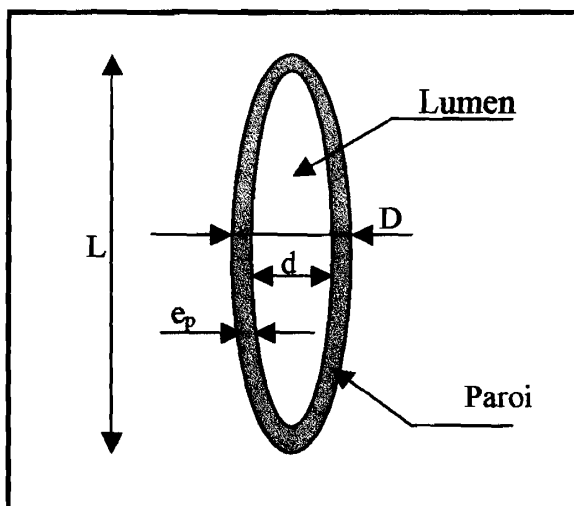


Figure (4-1) : Coupe longitudinale d'une fibre cellulosique

La méthode que nous avons utilisée est manuelle. Nous nous servons d'un microscope équipé d'un micromètre oculaire (Annexe photo 19), les caractéristiques dimensionnelles moyennes des fibres de l'échantillon analysé se résument dans tableau (4-3) comme suit :

Tableau (4-3) : Dimensions géométriques de la fibre cellulosique d'alfa

Dimensions géométriques de la fibre d'alfa	en (mm)
Longueur moyenne "L"	1,5000
Diamètre extérieur moyen "D"	0,0095
Diamètre intérieur moyen "d"	0,0055
Epaisseur de la paroi " $ep = \frac{(D-d)}{2}$ "	0,0020

A partir des valeurs obtenues nous déduisons un rapport $L/D=158$, qui témoigne du bon pouvoir feutrant qui caractérise les fibres d'alfa d'après M. JANIN [20].

D'après A.Ramirez-Coretti [60], les fibres cellulosiques sont classées suivant leurs longueurs de la manière suivante :

Fibres courtes	: $0,1 \text{ mm} \leq L \leq 0,9 \text{ mm}$
Fibres moyennes	: $0,9 \text{ mm} \leq L \leq 1,2 \text{ mm}$
Fibres longues	: $1,2 \text{ mm} \leq L \leq 1,6 \text{ mm}$
Fibres très longues	: $L \geq 1,6 \text{ mm}$

Ce classement nous permet de classer nos fibres d'alfa parmi les fibres longues

4-2-7 Masse volumique des fibres en pâtes cellulosiques

La valeur de la masse volumique absolue des fibres est obtenue par le rapport entre la masse de l'échantillon de fibres sèches et son volume comprimé dans l'état le plus dense.

Afin d'obtenir cette densité maximale, des petits échantillons secs de fibres d'alfa ont été pesés sur une balance électronique de précision égale à 1/10000 grs. Puis ils ont été mouillés et comprimés au maximum par la force des doigts dans une seringue pharmaceutique de précision égale à 1/10 ml.

Les masses volumiques absolues mesurées par cette méthode expérimentale sont portées sur le tableau (4-4).

Tableau (4-4) : Masses volumiques absolues des fibres d'alfa

M : masse de fibres sèche en (grs)	V : volume noté sur la seringue en (ml)	$\rho = M/V$ (Kg/m ³)	$\rho_{\text{moy}} = M/V$ (Kg/m ³)
1,2013	1,9	632	630
1,0693	1,7	629	
1,3230	2,1	630	

4-2-8 Taux d'absorption d'eau par les fibres

Afin de mesurer expérimentalement le taux d'absorption d'eau par les fibres, on a opéré comme suit :

- Peser un échantillon de fibres sèches, soit P_1 le poids ainsi mesurer en grammes.
- Bien étaler l'échantillon sur un tamis de 0,08 mm.
- Immerger partiellement le tamis dans un récipient d'eau potable jusqu'à ce que l'échantillon soit saturé.
- Retirer le tamis de l'eau et laisser l'échantillon s'égoutter pendant quelques minutes en étalant à nouveau l'échantillon sur le même tamis.

Une fois que l'échantillon est bien égoutté, on le pèse à nouveau, soit P_2 le poids trouvé en grammes.

- Expression des résultats et discussions : On calcule la capacité d'absorption d'eau par un amas de fibres en divisant le poids d'eau absorbée par l'échantillon sec

$$(W = P_2 - P_1) \text{ par le poids sec de l'échantillon c'est à dire : } H = \frac{P_2 - P_1}{P_1}$$

D'après l'étude biométrique que nous avons mené sous microscope (Annexe photo 19) et en s'appuyant sur le modèle géométrique de la fibre proposé par MORLIER et KHENFER [61] (Figure 4.2), nous avons pu calculer un volume de la

fibre que nous appellerons théorique et donc un taux d'absorption "théorique" de nos fibres.

Le tableau (4-5) regroupe les valeurs du taux d'absorption d'eau par les fibres (expérimental et, théorique à partir du modèle de MORLIER).

Tableau (4-5) : Taux d'absorption d'eau par les fibres cellulosiques d'alfa

	$H_{\text{experimental}}$	$H_{\text{théorique}}$
Fibres d'alfa	1,92	0,79

Cette valeur expérimentale veut dire que les échantillons secs d'alfa pourraient absorber des quantités d'eau qui valent 1,92 fois leurs poids. On relève que la valeur théorique du taux d'absorption d'eau serait de 0,79. Celle-ci est calculée selon l'hypothèse que l'eau absorbée par les fibres occupe uniquement les lumens de ces dernières, (Figure 4-1).

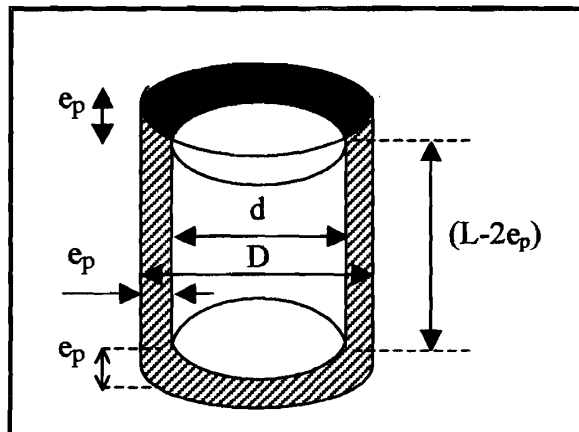


Figure (4-2) : Modèle géométrique de la fibre cellulosique [61]

Mais en réalité la fibre se gonfle une fois qu'elle absorbe de l'eau, de plus l'eau s'intègre facilement dans le tissu de la paroi (eau liée) et stagne d'une façon inévitable entre les fibres (eau libre). Ceci explique donc l'écart relevé.

4-3 Caractéristiques physiques des granulats du mortier

La matrice de notre composite est un mortier de ciment avec un super plastifiant permettant d'améliorer la maniabilité.

4-3-1 Sable

Le sable est le composant principal du mortier puisqu'il constitue son squelette. Il joue un rôle essentiel dans la résistance du mortier.

Les caractéristiques physiques des sables utilisés sont portées sur le tableau (4-6).

Tableau (4-6) : Caractéristiques physiques des sables

	Sable (S ₁)	Sable (S ₂)
Provenance et nature	Sable d'oued Médea lavé et tamisé à 2mm	Sable de dune Boussaada
Classe	0/2	0/0.4
Module de finesse M _f	2.41	0.83
Equivalent de sable E _s	87 %	97 %
Masse volumique apparente (t/m ³)	1.50	1.43
Masse volumique absolue (t/m ³)	2.56	2.52
Impuretés	2%	Néant

Dans le but d'avoir une bonne compacité du mortier, le sable utilisé dans les différentes gâchées est un sable reconstitué par les deux sables (S₁) et (S₂) en utilisant l'interpolation d'ABRAMS [62]. Il est constitué de 61.40 % de sable (S₁) et 38.60 % de sable (S₂). Sa courbe granulométrique a été effectuée conformément à la NF P18-560 [63], (figure (4-2)). Celle-ci se situe dans un fuseau de passage défini par la norme Belge NBN 589-202. Les caractéristiques du sable reconstitué sont :

- masse volumique absolue : $\rho = 2,5 \text{ t/m}^3$
- équivalent de sable : $E_s = 89.15 \%$
- module de finesse : $M_f = 1.8$

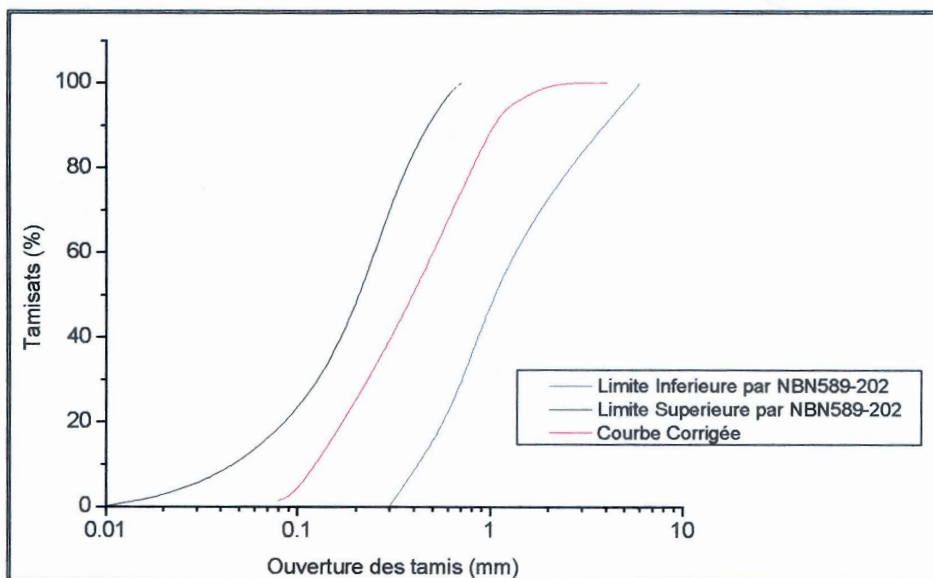


Figure (4-3) : Courbe granulométrique du sable utilisé

4-3-2Ciment

Le ciment est un liant hydraulique, qui fait prise et durcit par suite de réaction et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance (voir norme française NFP15-301). Selon la même norme on peut distinguer deux types de ciment portland :

- **Les ciments portland artificiel (CPA)** : contenant au moins 97 % de clinker et le reste c'est des fillers.
- **Les ciments portland composé (CPJ)** : contenant au moins 65 % de clinker, l'ajout pouvant être constitué de laitier des hauts fourneaux, pouzzolanes, cendres volantes ou fillers (la quantité des ajouts est limitée à 35 %).

Le clinker est le plus important constituant du ciment portland, constitué de quatre minéraux qui sont :

- Silicate tricalcique (Alite) : C_3S
- Silicate bicalcique (Belite) : C_2S

- Aluminate tricalcique (Celite) : C_3A
- Alumino – ferrite tétracalcique (Celite) : C_4AF .

Sachant que le calcaire est composé principalement de deux oxydes : CaO et CO_2 et que l'argile est composée surtout de trois oxydes : SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 , en chimie des ciments, on utilise les notations suivantes : $CaO = C$; $SiO_2 = S$; $Al_2O_3 = A$; $Fe_2O_3 = F$; $SO_3 = S$; $CO_2 = C$, $H_2O = H$.

Dans notre cas le ciment utilisé est un ciment CPJ 45 fourni par la cimenterie de MEFTAH avec les caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques portées sur le Tableau (4-7). Il est livré dans des sacs de 50 kg.

Tableau (4-7) : Fiche technique du ciment utilisé (Source : Laboratoire ERCC MEFTAH)

Analyses Chimiques		Essais Physico-Mécaniques		
SiO ₂	21.01%	Surface spécifique Blaine (cm ² /grs)		3043
CaO	63.89%	Consistance Normale		28.06%
MgO	1.10%	Temps de prise	Début	1h 49mn
Fe ₂ O ₃	3.07%		Fin	3h 37mn
Al ₂ O ₃	5.40%	Expansion (mm)		0.69
SO ₂	2.42%	Résistance à le flexion (MPa)	02 jours	5.10
Composition potentielle			07 jours	7.33
C ₃ S	59.14%		28 jours	8.25
C ₂ S	12.14%		02 jours	22.42
C ₃ A	9.70%	Résistance à la compression (MPa)	07 jours	43.62
C ₄ AF	8.60%		28 jours	58.10

4-3-3 Eau de gâchage

L'eau est, au même titre que le ciment et le sable, l'un des constituants du mortier. Elle intervient par ses propriétés physico-chimiques, à toutes les étapes de la vie du matériau.

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

- Une fonction physique qui confère au mortier les propriétés rhéologiques d'un fluide,
- Une fonction chimique qui contribue au développement de réactions d'hydratation.

4-3-4 Les adjuvants

Les adjuvants fournissent au formulateur de béton, une gamme étendue, variée et nuancée de possibilités pour faciliter la mise en œuvre des bétons, adapter leur fabrication au temps froid ou au temps chaud, réduire les coûts de mise en œuvre, améliorer les propriétés du béton durci, voire même lui conférer des propriétés nouvelles.

La norme NF P18-103 classe les adjuvants pour béton, mortiers et coulis, suivant leur fonction principale (Rhéologie, teneur en air, prise et durcissement). On peut distinguer trois grandes catégories d'adjuvants :

- Ceux qui modifient l'ouvrabilité du béton : plastifiants, réducteurs d'eau, super plastifiants ou fluidifiants.
- Ceux qui modifient la prise et le durcissement, accélérateurs de prise et retardateurs de prise.
- Ceux qui modifient certaines propriétés : entraîneur d'air, hydrofuges de masse, colorants...etc.

L'adjuvant utilisé dans nos compositions de mortier est un super plastifiant SIKAFUID™. C'est une solution liquide se diluant facilement dans l'eau de gâchage. Le dosage utilisé est 1,25 % du poids de ciment. C'est le dosage recommandé par la fiche technique du fabricant SIKA voir tableau (4-8) (pour plus détails voir annexe).

Tableau (4-8) : Les caractéristiques de l'adjuvant

Forme	Solution aqueuse
Couleur	Marron
Densité	1,20 ± 0,02
PH	7,5±1,5
Teneur chlore	< 0,1 %

4-4 Définition et description des imprégnants

A fin d'améliorer la tenue des fibres au sein du mortier de ciment, nous avons essayé des imprégnants à savoir la colophane et le gasoil.

4-4-1 Colophanes

Les colophanes sont des solides constitués essentiellement d'acides résiniques existant dans la gemme des bois résineux, et d'acides abiétiques formés par isomérisation au cours de l'extraction de l'essence de térébenthine. Ils sont accompagnés de petites quantités de substances qui peuvent les colorer plus ou moins en brun : résinâtes, produit d'oxydation, matières organiques non résineuses [57].

Elles sont solubles dans l'eau, ainsi que dans la majorité des solvants organiques et des graisses. Elles présentent l'avantage d'être peu coûteuses.

Les acides résiniques $C_{19}H_{29}COOH$, sont des corps non saturés dans la formule développée de l'acide abiétique.

Tableau (4-10) : Caractéristiques physico-chimiques du gasoil.

Caractéristiques	Résultats
Densité	0.83
Indice de réfraction à 20° C	1.47
Viscosité cinématique à 20° C	4.60
Point de trouble (°C)	2
Point de congélation (°C)	- 19
Saturés	65.40 % (en poids)
Aromatiques	32,80 % (en poids)
Résines	1,76 % (en poids)

4-5 Composition des mortiers

Nous avons préparé 4 types de mortiers : témoin, par fibres non traitées, par fibres imprégnées à la colophane et par celles au gasoil.

4-5-1 Mortier témoin

Le mortier témoin se compose du liant, du sable reconstitué et d'eau. Pour la préparation de 03 éprouvettes 4x4x16 cm, les quantités sont respectivement les suivantes :

- Sable reconstitué : 1350g \pm 5g
- Ciment CPJ 45 : 500 g \pm 2g
- Eau : 300 g \pm 1g
- Le rapport E/C est maintenu constant à 0,60.

Le mélange est effectué au moyen d'un malaxeur spécifié par la norme NFP 15-411 [64], le malaxeur étant en position de fonctionnement :

- Verser l'eau dans le récipient ; lui ajouter le liant,

- Mettre le malaxeur en marche à la vitesse lente pendant une minute ; dans les 30 dernières secondes, introduire le sable,
- Mettre le malaxeur à la vitesse rapide pendant 2 minutes,
- Arrêter le mouvement ; avec le batteur démonté de son axe, racler les parois et le fond du récipient de façon qu'aucune partie du mortier n'échappe au malaxage,
- Après remontage du batteur, reprendre le malaxage pendant 2 minutes à vitesse rapide.

4-5-2 Mortiers de fibres non traitées

La même composition que le mortier témoin a été utilisée pour la confection de la matrice des mortiers de fibres d'alfa. On y a incorporé différents pourcentages volumiques de fibres, notamment 0.5%, 1%, 1.5%, 2% et 3 %.

Le grand pouvoir d'absorption des fibres d'alfa conduit à une réduction importante de l'ouvrabilité avec l'augmentation du dosage en fibres. Ce phénomène entraîne un serrage défectueux et une répartition hétérogène des fibres dans le mortier (Annexe photo 10-11). Pour remédier à cela un superplastifiant est nécessaire.

La préparation de la gâchée se fait en plusieurs étapes simultanées [65], [66] qui se présentent comme suit :

- ❖ **Etape 1** : Une fraction volumique du superplastifiant SIKAFUID™ est mélangé au préalable dans une partie de l'eau de gâchage.
- ❖ **Etape 2** : On met les fibres sèches, dans un agitateur à vitesse rapide pendant 10 à 15 minutes avec le mélange cité dans l'étape 1.
- ❖ **Etape 3** : Avec un malaxeur à mortier on mélange pendant une (01) minute le sable et le ciment avec la moitié de l'eau de gâchage restante.
- ❖ **Etape 4** : Les fibres mouillées récupérées de l'agitateur seront ajoutées au malaxeur.
- ❖ **Etape 5** : La quantité d'adjuvant restant est rajoutée soigneusement au mélange et ce, jusqu'à atteindre la maniabilité voulue. Le malaxeur sera arrêté au bout de 04 minutes.

4-5-3 Mortiers de fibres imprégnées

Afin de rendre les fibres cellulosiques hydrophobes, il est nécessaire d'imprégner ces dernières par un imprégnant organique ou autre. Ces composites (mortiers de fibres traitées) sont préparés de la même façon que les mortiers de fibres non traitées, avec en plus l'ajout de l'imprégnant aux fibres mouillées d'eau.

4-5-3-1 Imprégnation des fibres par la colophane

Les fibres dans leur état naturel sont imbriquées grâce aux lignines et aux forces de cohésion. Dans notre cas nous utilisons des fibres séparées pour leur donner la propriété d'hydrophobie et pour faciliter leur traitement.

L'imprégnation à la colophane consiste à ajouter à la pâte obtenue par macération à froid une quantité de colophane (2% par rapport à la masse de fibres sèches) qui vise à précipiter sur les fibres des particules dites micelles qui diminuent la mouillabilité à l'eau et limitent, voire même suppriment, le cheminement capillaire du liquide.

La colophane est un mélange d'acide résinique (gemme de pin) dont le plus important est l'acide abiétique $C_{19}H_{29}COOH$.

Les particules de l'imprégnant et les fibres cellulosiques ont le même signe de charge négative; en solution elles se repoussent. On est donc amené à utiliser un additif qui servira de pont entre les deux substances : le sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3$. Son rôle sera donc de fixer les particules de l'imprégnant sur les fibres.

La colophane et la cellulose dans les conditions de l'imprégnation se comportent comme des colloïdes négatifs. L'alumine est un colloïde positif capable de lier la colophane aux fibres par des forces électrostatiques.

La composition des mortiers de fibres imprégnées par la colophane notés (MFC) est donnée suivant le Tableau (4-11).

4-5-3-2 Imprégnation des fibres par le gasoil

La même procédure est utilisée dans le cas du gasoil. La composition des mortiers de fibres imprégnées par le gasoil notés (MFG) est donnée suivant le Tableau (4-11).

4-6 Nombre et types d'éprouvettes réservées à l'étude

A fin d'essayer les différents mortiers, on a confectionné des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm. Le nombre d'éprouvettes et leurs répartitions selon les essais correspondants sont donnés dans le tableau (4-11).

Tableau (4-11) : Eprouvettes et essais correspondants

Nature de l'essai	Type de mortier	Nombre d'éprouvettes par type de mortier	Observations
Traction Par flexion Norme EN196-1	-MT ($V_f=0\%$)	18	Ecrasement à 28j et 90j Conservation de cure - air du laboratoire - eau douce - eau mer
	-MF ($V_f=0.5\%,1\%,1.5\%,2\%,3\%$)	90	
	-MFC ($V_f=0.5\%,1\%,1.5\%,2\%,3\%$)	90	
	-MFG ($V_f=0.5\%,1\%,1.5\%,2\%,3\%$)	90	
Compression simple Norme EN196-1	-MT ($V_f=0\%$)	18	Ecrasement à 28j et 90j Conservation de cure - air du laboratoire - eau douce - eau mer
	-MF ($V_f=0.5\%,1\%,1.5\%,2\%,3\%$)	90	
	-MFC ($V_f=0.5\%,1\%,1.5\%,2\%,3\%$)	90	
	-MFG ($V_f=0.5\%,1\%,1.5\%,2\%,3\%$)	90	
Durabilité [43]	-MT ($V_f=0\%$)	18	Ecrasement à - 7 cycles - 14 cycles - 45 cycles pour différents types de mortier
	-MF ($V_f=1\%$)	18	
	-MFC ($V_f=1\%$)	18	
	-MFG ($V_f=1\%$)	18	
Retrait NFP15-433	-MT ($V_f=0\%$)	03	Conservation de cure - air du laboratoire Mesure à 3, 7, 14, 28, 56 ,90 et 120j
	-MF ($V_f=1\%,2\%,3\%$)	09	
Conductivité thermique	-MT ($V_f=0\%$)	02 (4x8x16 cm)	Mesuré par l'appareil "CT-METRE"
	-MF ($V_f=1\%, 2\%,3\%$)	06 (4x8x16 cm)	
	-MFC ($V_f=1\%, 2\%,3\%$)	06 (4x8x16 cm)	

MT : Mortier témoin

MF : Mortier de fibres non traitées

MFC : Mortier de fibres imprégnées par la colophane

V_f : Pourcentages volumiques en fibres.

MFG : Mortier de fibres imprégnées par le gasoil

4-7 Composition des mortiers utilisés

Afin de pouvoir comparer la variation des performances des différents mortiers, le maintien d'une maniabilité relativement constante s'avère nécessaire. Pour cela on essaye de garder le rapport E/C constant en faisant varier la quantité de l'adjuvant de telle sorte que le temps d'écoulement dans les différents mortiers frais soit sensiblement le même (environ 7 sec \pm 2, Tableau 4-12). Les compositions des différents mortiers utilisés sont regroupées dans le tableau (4-12)

Tableau (4-12) : Composition des mortiers utilisés

Type de mortier	% fibres	Ciment (gr)	Sable (gr)	Eau (gr)	Adjuvant (ml)	Colophane (gr)	Gasoil (ml)	Temps d'écoulement (sec)	Sulfates d'alumine 10 ⁻² (gr)
MT	0	500	1325	300	0		/	7 \pm 2	
MF	0.5	500	1325	300	1.0		/	7 \pm 2	
	1.0				1.5				
	1.5				2.5				
	2				3.0				
	3				4.0				
MFC	0.5	500	1325	300	1.0	0,1		6 \pm 2	2,42
	1.0				1.5	0,2			4,84
	1.5				2.5	0,3			7,26
	2				3.0	0,4			9,68
	3				4.0	0,6			14,52
MFG	0.5	500	1325	300	1.0		0,5	6 \pm 2	
	1.0				1.5		1		
	1.5				2.5		1		
	2				3.0		2		
	3				4.0		2		

La colophane est associée à des sulfates d'alumine pour lesquels les quantités indiquées sur le tableau permettant d'obtenir une concentration constante de 100 g/l

4-8 Conclusion

Les opérations de malaxage et de mise en œuvre des bétons de fibres sont des étapes très importantes dans la détermination de ces propriétés à l'état frais ou durcis. Toutefois, dans le malaxage des bétons de fibres il faut veiller à obtenir une ouvrabilité acceptable et une bonne dispersion des fibres dans le mélange pour éviter la formation de pelotes de fibres "oursins", pour cela il faut respecter le pourcentage critique qui est le pourcentage limite admissible de fibres à introduire dans la matrice pour éviter les problèmes de mise en œuvre.

Le grand pouvoir d'absorption des fibres d'alfa conduit à une réduction importante de l'ouvrabilité avec l'augmentation du dosage de fibre, ce phénomène conduit à un serrage défectueux et répartition hétérogène des fibres dans le mortier (Annexe photo10-11), pour cela un superplastifiant est nécessaire. D'où le grand intérêt qu'il y a à rechercher un moyen efficace dans la mise en œuvre des mortiers de fibres végétales, et l'orientation efficace des fibres végétales dans le mortier.

Nous avons aussi remarqué des « incuits » qui sont des brindilles de végétal qui après macération à froid, ne sont pas bien défibrés. Les « incuits » proviennent soit d'un défaut dans les parties internes du végétal par suite d'une anomalie de croissance, soit d'un incident de manipulation (Annexe photo 8).

L'imprégnation par la colophane conduit à des acides organiques qui réagissent avec les alcalins de ciment hydraté lors de malaxage, cela est observé par la formation de savons résiniques.

En traitant les fibres par le gasoil, nous constatons que les fibres s'assouplissent et qu'il n'y a pas de formation de pelotes, ni agglutinement des fibres lors du malaxage.

Chapitre V

Essais sur mortiers
durcis à base de fibres alfa

5-1 Introduction

Le renforcement des mortiers par les fibres alfa est un axe de recherche nouveau. De ce fait, nous allons donner dans la première partie de ce chapitre les modes opératoires des différents essais réalisés dans la partie expérimentale. Ensuite on examinera les propriétés mécaniques des différents mortiers de fibres non traitées et les mortiers de fibres imprégnées conservés dans trois types de cures : air du laboratoire, eau douce, et eau de mer. Nous étudierons aussi le retrait, la durabilité, et la conductivité thermique.

Dans ce chapitre seront aussi donnés les interprétations des résultats expérimentaux.

5-2 Procédures d'essais sur mortier

5-2-1 Equipements

En laboratoire, les mortiers ont été réalisés à l'aide d'équipements standards, ces équipements sont décrits de manière détaillée par la norme EN 196-1[67].

❖ Malaxeur

Le mortier a été préparé dans un malaxeur de 5 litres. Il comporte une palette permettant un mouvement planétaire susceptible de fonctionner à deux vitesses (dites lente et rapide) : 140 et 285tr/mn.

❖ Moule

Des moules normalisés ont été utilisés. Ces moules servent au moulage de 3 éprouvettes prismatiques de mortier de section carrée 4cm x 4cm et de longueur 16 cm. Ils sont fabriqués avec précision et sont entièrement démontables. Ces moules sont fabriqués en acier étiré usiné.

❖ Table à chocs

La table à choc est apte à recevoir trois éprouvettes prismatiques de mortier de 4x4x16 cm. L'appareil permettant d'appliquer 60 chocs aux moules en les faisant chuter d'une hauteur de $15\text{mm} \pm 0.3\text{mm}$ à la fréquence d'une chute par seconde pendant 60s.

5-3 Essai de maniabilité

Pour mesurer la maniabilité des mortiers nous avons utilisé le maniabilimètre LCPC, conformément à la norme française NF P 15-437[68]. L'appareil de mesure est conforme à la version B de la norme française NF P 18-452 [69]. Cet appareil consiste à apprécier la consistance du mortier qui est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide.

Le degré d'ouvrabilité s'il existait toutefois un moyen de le spécifier et de le mesurer serait fonction de l'habileté du maçon, de la maniabilité du mortier et de plusieurs propriétés du support telles que l'absorption d'eau par le support, l'état de surface, etc. La méthode utilisée par le maçon pour juger l'ouvrabilité est basée sur sa façon personnelle de travailler et sa formation selon les traditions. La méthode LCPC que nous avons retenue consiste à mesurer le temps mis par un mortier initialement placé dans le grand compartiment du maniabilimètre pour s'écouler sous vibration et atteindre un repère horizontal fixe, gravé sur une paroi du second compartiment. Le temps écoulé entre le déclenchement de la vibration par soulèvement de la cloison amovible et l'affleurement du mortier au trait repère représente le résultat de la mesure.

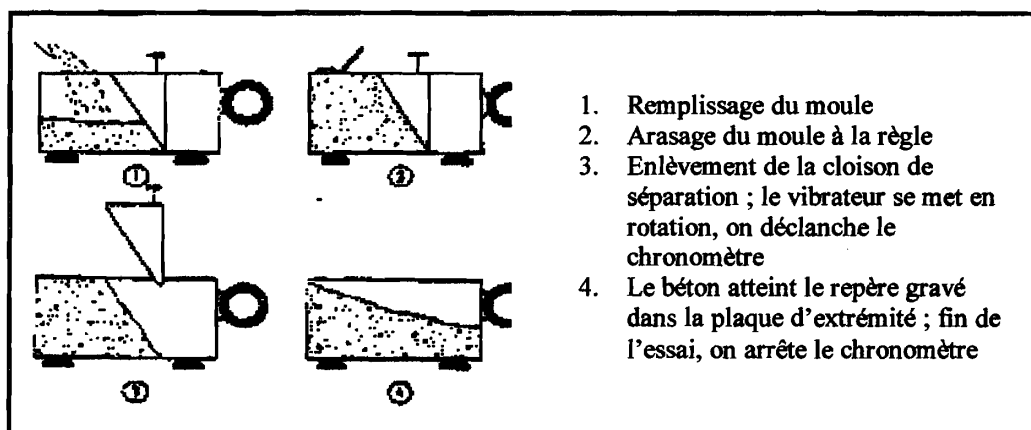


Figure (5-1) : Phases successives de l'essai au maniabilimètre

5-4 Essai de résistance à la traction par flexion

L'essai permet de déterminer la contrainte de traction d'un mortier. Il est mené conformément à la norme européenne EN 196-1 [67]. Cet essai est réalisé sur l'appareil de flexion en plaçant l'éprouvette 4x4x16 cm symétriquement sur deux mâchoires. Ces dernières servent d'appuis et une troisième est destinée à appliquer un moment fléchissant à mi-longueur. L'essai est répété sur trois éprouvettes identiques afin de trouver la résistance moyenne en traction par flexion R_t . La résistance à la rupture en traction par flexion est donnée au moyen de la formule suivante :

$$R_t = 1.5.F_t.L / b^3 \quad \text{N/mm}^2$$

L : Distance entraxe des rouleaux d'appui de l'éprouvette 4x4x16cm en mm (L=100mm).

R_t : Résistance à la traction en MPa.

F_t : Charge à la rupture en N.

b : largeur de la section carrée du prisme en mm (b =40mm).

Dans notre étude la valeur de la résistance à la traction par flexion est directement lue en N /cm² sur une réglette graduée placée sur le bras de la machine de flexion.

5-5 Essai de résistance à la compression

L'essai consiste à comprimer jusqu'à écrasement un échantillon du matériau étudié. Il est mené conformément à la norme EN 196-1 [67]. Il s'effectue à la suite de l'essai de traction par flexion et porte par conséquent sur les deux morceaux obtenus après rupture d'une éprouvette. Cet essai est réalisé sur une presse hydraulique permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150 KN avec une vitesse de mise en charge de 2400 N/s \pm 200 N/s. L'échantillon est placé au milieu du plateau de la presse. La surface de contact entre l'éprouvette et le plateau de compression est de 16 cm² (4x4cm²).

L'augmentation de la charge se fait automatiquement et la force de rupture est indiquée en KN par une aiguille supplémentaire qu'on doit remettre à zéro après chaque essai. La résistance à la compression est donnée par la relation suivante :

$$R_c = F_c / 1600 \quad \text{N/mm}^2$$

Avec :

R_c : Résistance à la compression (en Mpa).

F_c : La charge maximale à la rupture (en Newtons).

La figure (5.1) montre le dispositif de l'écrasement à la compression

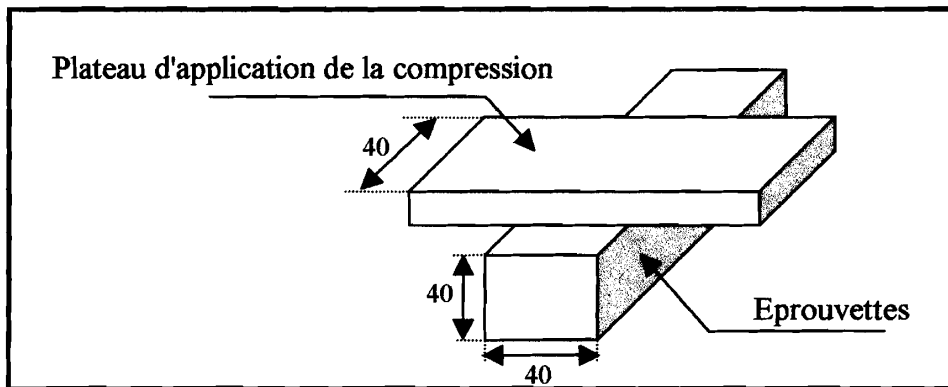


Figure (5-2) : Dispositif de l'écrasement à la compression

5-6 Essai de retrait

Dans certaines conditions de fabrication, d'emploi et de conservation, les mortiers peuvent subir une diminution du volume apparent, appelé retrait, qui est susceptible de produire des fissurations plus ou moins importantes. Ces fissures dues au retrait peuvent, selon leurs dimensions, influencer sur la stabilité de la construction; et si elles sont assez profondes, diminuer l'étanchéité des massifs ou elles se produisent.

L'essai de retrait est réalisé conformément à la norme NF P15-433 [70]. Il consiste à mesurer en fonction du temps, la variation de longueur d'une éprouvette 4x4x16 cm, par rapport à sa longueur d'origine. Les éprouvettes sont conservées après démoulage dans une salle dont la température est maintenue à $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ et l'humidité relative à $50\% \pm 5\%$.

Les mesures de retrait sont généralement effectuées sur 3 éprouvettes aux échéances suivantes :

- Au démoulage, mesure d'origine des variations.
- A 3.7 et 28 jours après la confection des éprouvettes.

Pour chaque éprouvette et à chaque échéance sont calculés les rapports:

$$\Delta L / L \times 10^6$$

Avec :

ΔL : Variation de longueur par rapport à la longueur d'origine.

L : longueur de base prise égale à 160 mm.

5-7 Mesure de la conductivité thermique

La conductivité thermique est la grandeur qui caractérise la faculté qu'a la chaleur de traverser aisément un corps en régime permanent. Elle est exprimée par le coefficient λ en watts par mètre et par degré de température ($W/m^{\circ} C$). Le coefficient de conductivité thermique λ correspond au flux thermique, rapporté à l'unité de surface (soit le m^2), traversant un corps d'une épaisseur de 1m, soumis à un écart de température entre ses deux faces de $1^{\circ}C$. Le flux thermique dépend de la masse volumique et de la porosité, ouverte ou fermée du matériau. Le coefficient de conductivité thermique λ est d'autant plus faible que la masse volumique est peu élevée et la porosité importante. Plus λ est élevé, plus le matériau transmet la chaleur. Un corps ayant un coefficient élevé est un mauvais isolant [71].

Pour mesurer la conductivité thermique, nous avons utilisé le CT METRE, appareil aisément transportable. Il a été élaboré dans le but de permettre d'évaluer avec précision les caractéristiques thermiques de tous matériaux tels que :

- La brique
- Les roches, la terre, etc....
- Le bitume
- Les substances en poudre
- Les liquides, etc....
- Les résines ou produits complexe.

Le principe de fonctionnement consiste en l'association d'un élément chauffant et d'un capteur de température (tous deux associés dans la même sonde) qui servent à

mesurer l'élévation de température subie par le capteur, au cours d'une période de chauffage choisie par l'utilisateur en fonction du matériau à tester et du type de sonde utilisée (Annexe photos 20).

Dans notre cas, on a utilisé la sonde fil (ou monotige), ce type de sonde permet de réaliser la mesure directe de la conductivité thermique ($W/m^{\circ}C$), celle-ci est placée entre deux échantillons identiques de dimensions $4 \times 8 \times 16$ cm. On allume alors le CT METRE et après réglage des différents paramètres d'essais, le système applique une période de chauffage, mesure la température puis calcule une valeur de λ .

5-8 Résultats et interprétations

Les essais ont porté sur la résistance à la traction par flexion ainsi que la compression sur les fibres non traitées et les fibres imprégnées. Des essais complémentaires ont été réalisés afin d'évaluer l'effet du retrait ainsi que la durabilité et l'isolation thermique.

5-8-1 Résistances à la traction par flexion

Les tableaux (5-1) et (5.2) montrent les variations de la résistance à la traction par flexion en fonction du pourcentage de fibres et pour différents milieux de cure.

Tableau (5.1) : Résistances à la traction par flexion à 28 jours

Pourcentage de fibre %		0	0.5	1	1.5	2	3
Type de mortier	Milieu de cure	Résistance à la traction par flexion en MPa					
MF	A	6.68	7.30	7.48	7.33	7.00	6.67
	E	7.20	7.01	7.11	6.85	6.56	6.20
	M	6.10	6.00	6.06	5.66	5.30	5.11
MFG	A	6.68	7.40	7.63	7.18	6.79	6.55
	E	7.20	7.35	7.49	6.91	6.64	6.32
	M	6.10	6.15	6.22	6.11	5.76	5.56
MFC	A	6.68	6.70	6.81	6.22	6.01	5.33
	E	7.20	7.25	7.33	6.97	6.55	6.22
	M	6.10	5.86	5.61	4.55	4.33	4.21

Tableau (5-2) : Résistances à la traction par flexion à 90 jours

Pourcentage de fibre %		0	0.5	1	1.5	2	3
Type de mortier	Milieu de cure	Résistance à la traction par flexion en MPa					
MF	A	7.14	7.76	7.81	7.72	7.52	6.91
	E	7.70	7.48	7.52	7.22	7.01	6.22
	M	6.46	6.22	6.18	6.01	5.86	5.57
MFG	A	7.14	7.84	7.93	7.62	7.50	7.34
	E	7.70	7.88	7.97	7.82	7.64	7.53
	M	6.46	6.52	6.62	6.44	6.10	5.91
MFC	A	7.14	7.34	7.42	7.01	6.86	6.34
	E	7.70	7.72	7.80	7.41	7.21	6.62
	M	6.46	6.20	6.18	5.76	5.38	4.43

Avec :

MF: Mortier de fibre

MFG: Mortier de fibres imprégnées par le gasoil

MFC: Mortier de fibres imprégnées par la colophane

A: l'air laboratoire

E : eau douce

M : eau de mer

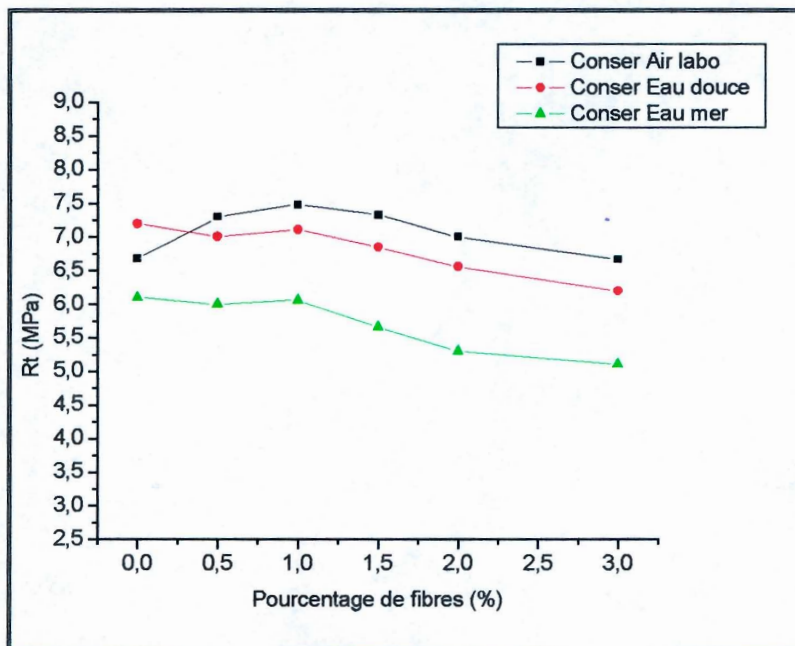


Figure (5-3) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la traction par flexion à 28 jours (mortier type MF)

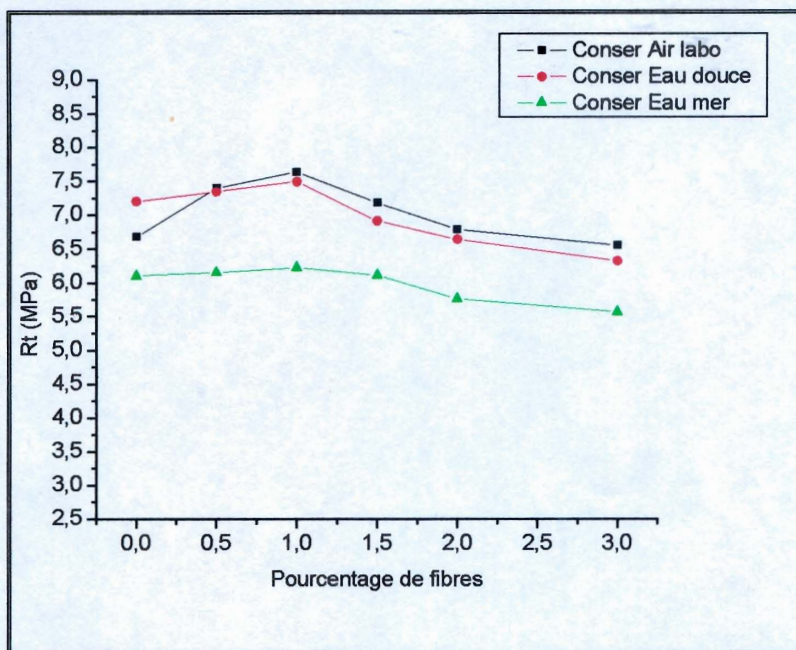


Figure (5-4) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la traction par flexion à 28 jours (mortier type MFG)

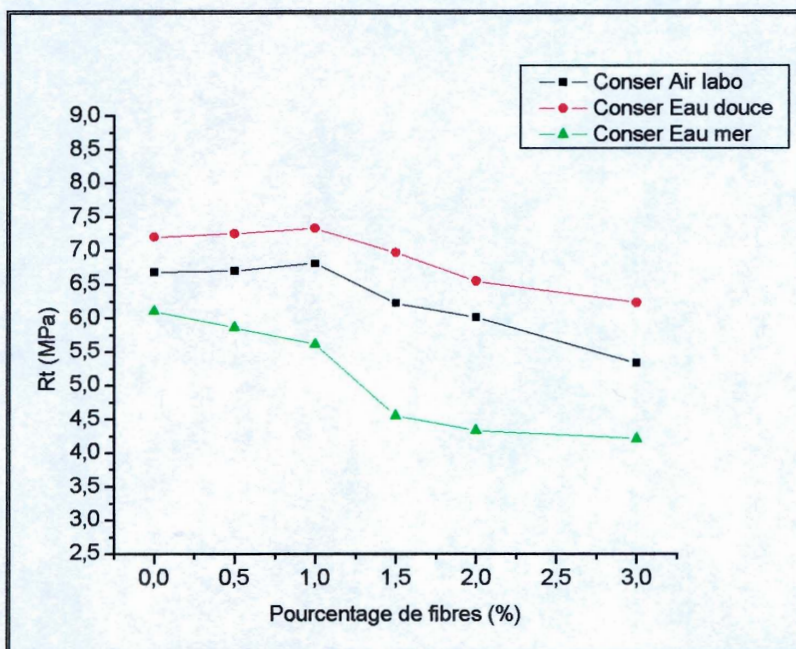


Figure (5-5) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la traction par flexion à 28 jours (mortier type MFC)

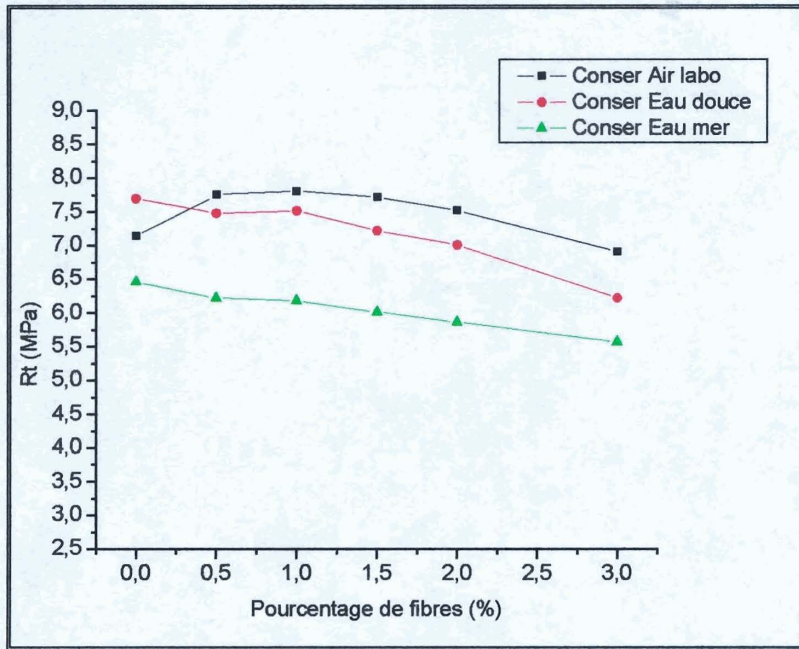


Figure (5-6) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la traction par flexion à 90 jours (mortier type MF)

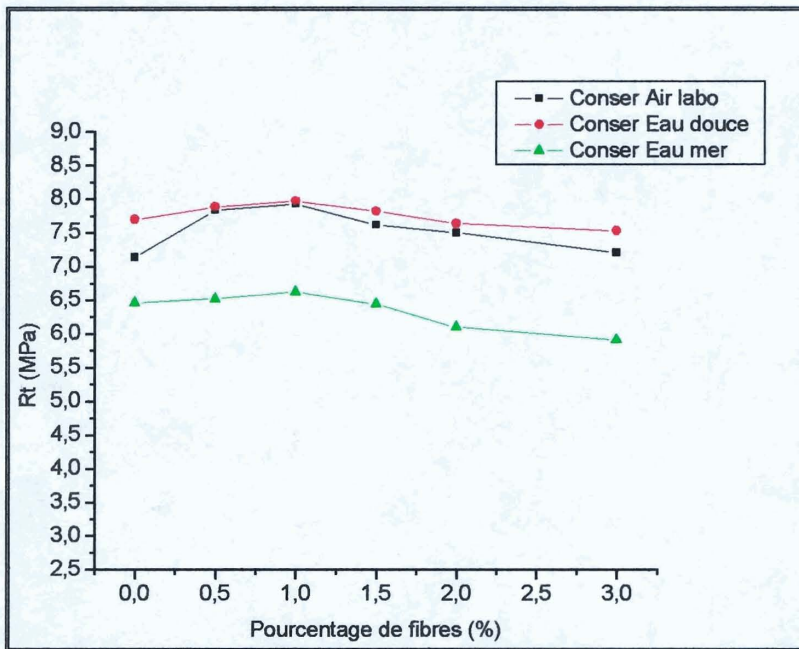


Figure (5-7) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la traction par flexion à 90 jours (mortier type MFG)

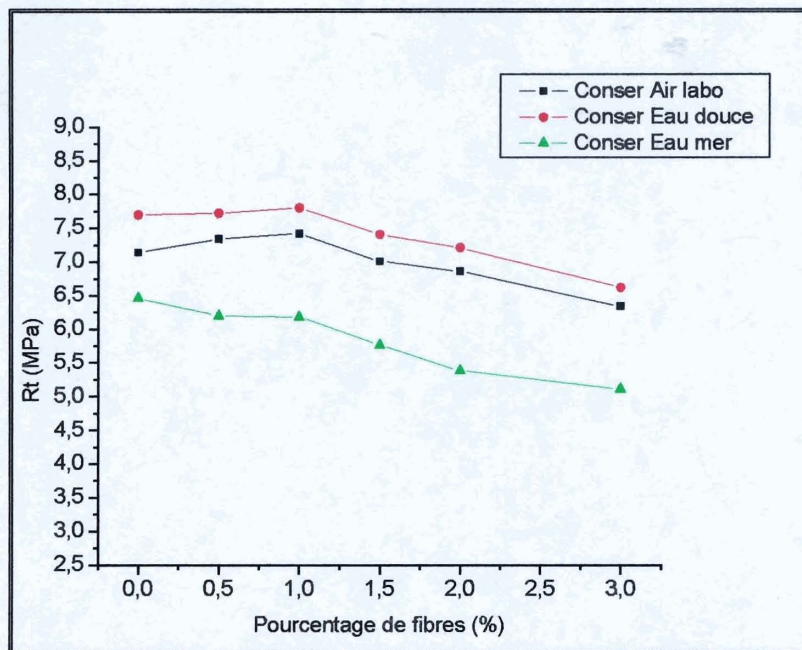


Figure (5-8) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la traction par flexion à 90 jours (mortier type MFC)

Les essais ont été élaborés sur des éprouvettes avec différents pourcentages de fibres en volume, notamment (0.5, 1, 1.5, 2 et 3%) pour différents milieux de cure (air du laboratoire, eau douce et eau de mer) et avec des durées de conservation de 28 et 90 jours et cela pour le mortier témoin sans fibres (MT), les mortiers de fibres non traitées (MF), les mortiers de fibres imprégnées par le gasoil (MFG) et les mortiers de fibres imprégnées par la colophane (MFC) (Tableau 4-11).

a) Effet du type de cure sur les fibres non traitées.

On constate que pour les mortiers de fibres non traitées, les éprouvettes conservées à l'air du laboratoire ont des résistances à la traction par flexion supérieures à celles des éprouvettes conservées dans l'eau douce et l'eau de mer; cette différence dans la résistance est principalement due à l'effet de l'eau sur la fibre. La fibre non protégée perd ses caractéristiques mécaniques par l'effet de mouillage et par sa présence dans un milieu alcalin relativement agressif. En effet, le ciment est un matériau fortement alcalin qui contient des groupes d'hydroxydes de métal tels que CaOH, SiOH,..., alors que les fibres cellulosiques comme toutes les fibres végétales contiennent des groupes d'hydroxydes et divers phénoliques ainsi que des groupes

carboxyliques. Les liaisons hydroxydes exercent une influence majeure sur l'adhérence dans ces matériaux.

A l'état sec du matériau composite (matrice + fibre), les fibres sont liées à la matrice par plusieurs liaisons d'hydrogènes et d'hydroxydes. Après rupture de la matrice, le transfert de chargement aux fibres passe par ces liaisons jusqu'à la fracture de la fibre [9].

Cependant, dans le cas où le matériau est saturé, les liaisons d'hydrogènes entre fibres ou entre fibre et matrice seront brisées par l'insertion des molécules d'eau entre les groupes d'hydroxydes de la matrice, d'où une chute dans l'adhérence [9].

La résistance à la traction par flexion des mortiers de fibres non traitées (MF) pour les éprouvettes conservées à l'air du laboratoire ont donc donné des résistances supérieures à celles conservées dans l'eau. On assiste à deux mécanismes de rupture : fibres déchaussées et des fibres fracturées [38]. Pour les éprouvettes conservées à l'air libre le déchaussement s'avère être prépondérant. Par contre pour les éprouvettes conservées sous l'eau, l'arrachement (pull-out) des fibres par glissement de ces dernières dans leurs gaines est le phénomène le plus dominant. Bien que la partie mortier du composite a gagné de la résistance du fait que l'échantillon a été conservé dans l'eau douce, la perte de résistance causée par la présence des fibres s'est avérée plus importante. On note enfin que 1 % est la fraction optimale à introduire dans la matrice.

b) Effet de l'imprégnation au gasoil

D'après les tableaux (5-1) et (5-2), les résistances des mortiers de fibres imprégnées par le gasoil (MFG) sont globalement supérieures à celles des mortiers de fibres non traitées (MF). Ce gain de résistance des fibres est dû d'une part à la protection des fibres par le gasoil et à une meilleure distribution des fibres dans le mortier d'autre part. Cette meilleure distribution est attribuée au caractère lubrifiant du gasoil. Les résistances des éprouvettes des mortiers de fibres imprégnées par le gasoil (MFG) conservées dans l'eau sont presque identiques à celles des mêmes éprouvettes

conservées à l'air du laboratoire et particulièrement au alentour de 1%. L'imprégnation a donc permis aux liaisons d'hydrogènes entre les fibres et la matrice et d'être quasiment protégées contre la pénétration des molécules d'eau.

L'imprégnation au gasoil avec des concentrations de 0,5 à 1% permet donc d'obtenir des résistances améliorées par rapport aux mortiers sans fibres ou avec fibres non traitées. L'optimum étant encore ici à 1%.

c) Effet de l'imprégnation à la colophane

En ce qui concerne la résistance à la traction par flexion des mortiers de fibres imprégnées par la colophane (MFC), on relève que les échantillons conservés dans l'eau douce donnent des résultats meilleurs que ceux des éprouvettes conservées à l'air du laboratoire et à l'eau de mer.

Les résistances des éprouvettes (MFC) sont inférieures aux résistances des échantillons des mortiers de fibres traitées par le gasoil (MFG) et ceux des mortiers de fibres non traitées (MF) avec l'exception des éprouvettes conservées dans l'eau douce à 90 jours. Cette différence dans la résistance peut être attribué d'une part, à la mauvaise distribution des fibres imprégnées par la colophane dans le mortier (concentration des fibres dans certaines parties de la matrice) (Annexe photos 10 et 11), et d'autre part, à la présence du sulfate d'alumine (Al_2SO_4), (voir 4-5-3-1) qui affecte quelque peu la résistance de la matrice du mortier.

Les résistances des mortiers de fibres imprégnées par la colophane (MFC) et conservés sous l'eau sont supérieures à celles des éprouvettes conservées à l'air du laboratoire ainsi que dans l'eau de mer. L'imprégnation des fibres par la colophane protège donc par double effet la surface des fibres contre l'attaque des alcalis libérés par le ciment lors de l'hydratation, et les molécules d'eau et garantit ainsi les propriétés d'hydrophobie. La colophane a les caractéristiques d'être agglutinée et hydrophobe et capable de renforcer les liaisons faibles des agents hydrophobes des fibres, remplissant ainsi les lumens de ces dernières et les recouvrant.

Les mêmes effets se répètent sur les différents types de composites testés à 90 jours d'âge à différentes cures, néanmoins leurs résistances sont supérieures à celles de ces mêmes éprouvettes testées à 28 jours, ce qui confirme que les fibres n'ont guère altérées le mécanisme de cristallisation (et donc du durcissement) du ciment portland dans sa matrice.

Enfin, nous constatons que bien que le gain (relatif) de résistance entre 28 et 90 jours soit plus importants avec des fibres imprégnées à la colophane, les fibres imprégnées au gasoil restant celles qui donnent les plus grandes résistances en valeurs absolues.

d) Apport des fibres dans le cas d'une conservation dans un milieu agressif (marin).

Concernant le comportement en traction par flexion après conservation dans l'eau de mer, on s'aperçoit que le renfort par les fibres (notamment à la concentration optimale à 1 % en fibres imprégnées au gasoil) ne suffit pas à compenser la perte de résistance due à l'agressivité du milieu.

5-8-2 Résistances à la compression

Les tableaux (5-3) et (5-4) montrent les variations de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de fibres pour les différents milieux de cure.

Tableau (5-3) : Résistances à la compression à 28 jours

Pourcentage de fibres %		0	0.5	1	1.5	2	3
Type de mortier	Milieu de cure	Résistance à la compression en MPa					
MF	A	34.60	32.70	29.61	26.51	22.32	18.67
	E	55.24	49.17	45.37	40.16	37.25	34.30
	M	32.26	29.39	27.77	20.20	21.00	16.76
MFG	A	34.60	29.31	26.27	24.31	20.80	18.62
	E	55.24	42.15	40.13	38.26	35.18	34.66
	M	32.26	25.15	22.82	20.20	18.89	17.22
MFC	A	34.60	22.75	20.19	19.60	18.53	17.22
	E	55.24	32.61	30.42	28.19	25.52	22.69
	M	32.26	21.22	19.97	19.13	18.11	16.13

Tableau (5-4) : Résistances à la compression à 90 jours

Pourcentage de fibres %		0	0.5	1	1.5	2	3
Type de mortier	Milieu de cure	Résistance à la compression en MPa					
MF	A	36.89	32.91	29.97	28.42	25.16	20.61
	E	60.10	49.98	47.33	41.86	38.72	36.88
	M	35.17	31.32	29.76	27.33	23.67	18.82
MFG	A	36.89	29.77	27.38	25.89	21.91	20.20
	E	60.10	45.61	43.98	40.19	38.73	35.14
	M	35.17	26.22	24.61	20.98	19.92	18.72
MFC	A	36.89	25.22	22.11	21.52	19.33	19.10
	E	60.10	35.78	32.96	32.11	30.27	28.14
	M	35.17	22.32	20.65	20.12	19.27	18.88

Avec :

MF: Mortier de fibre

MFG: Mortier de fibres imprégnées par le gasoil

MFC: Mortier de fibres imprégnées par la colophane

A: l'air laboratoire

E : eau douce

M : eau de mer

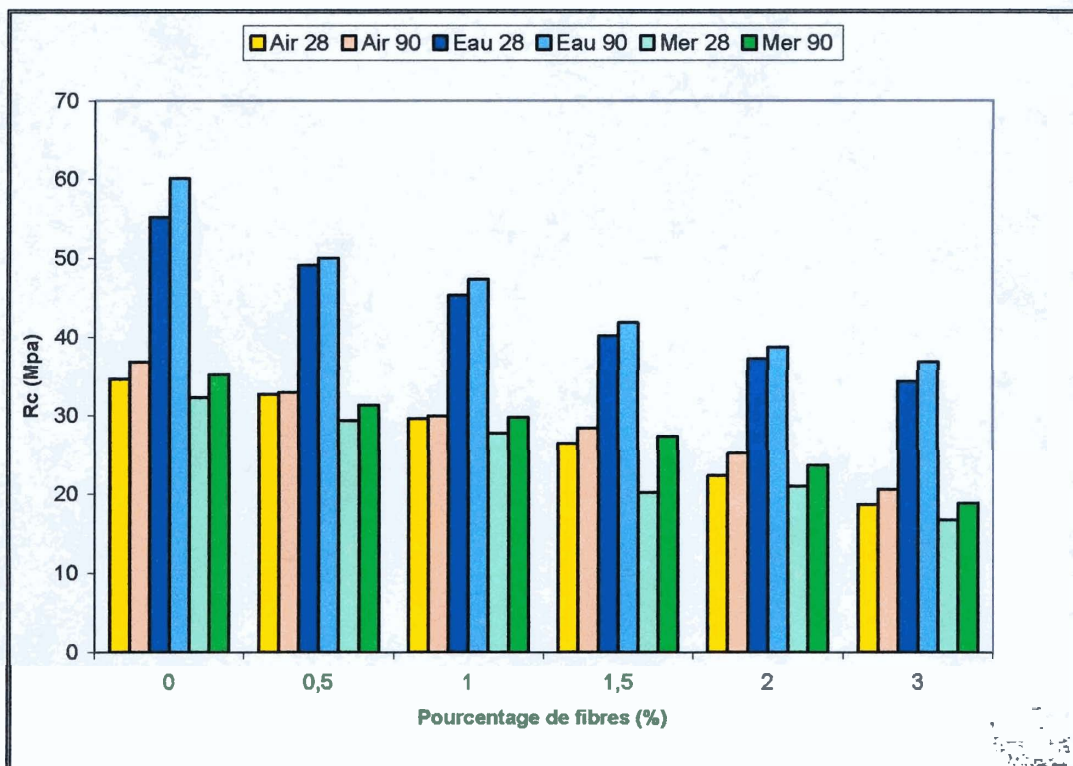


Figure (5-9) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la compression à 28 et à 90 jours (mortier type MF)

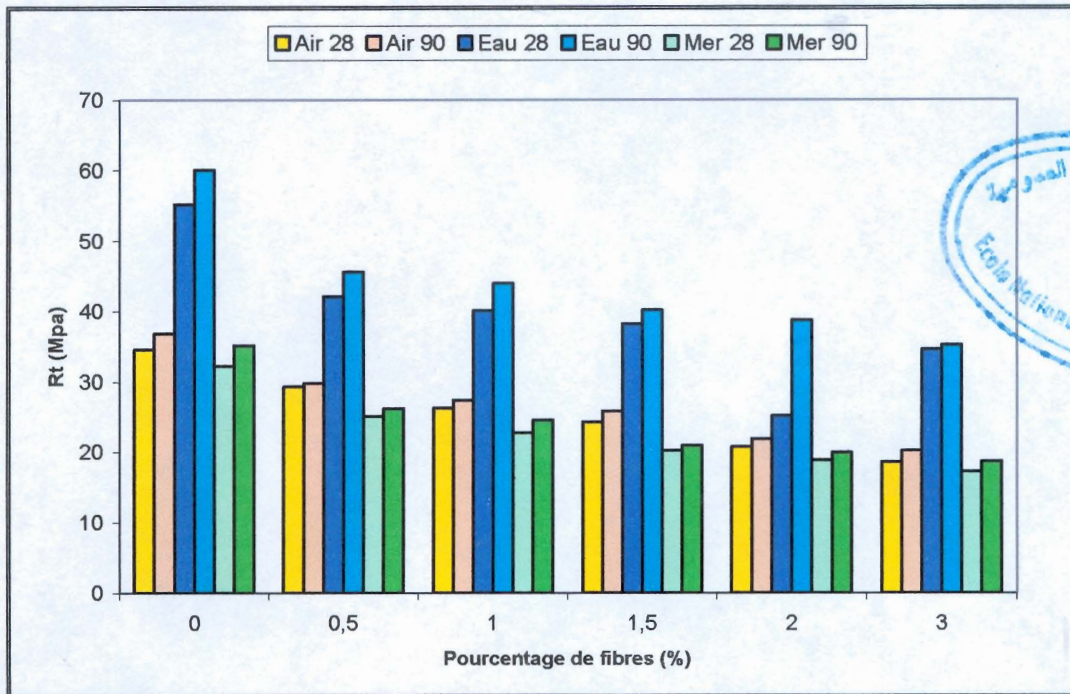


Figure (5-10) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la compression à 28 et à 90 jours (mortier type MFG)

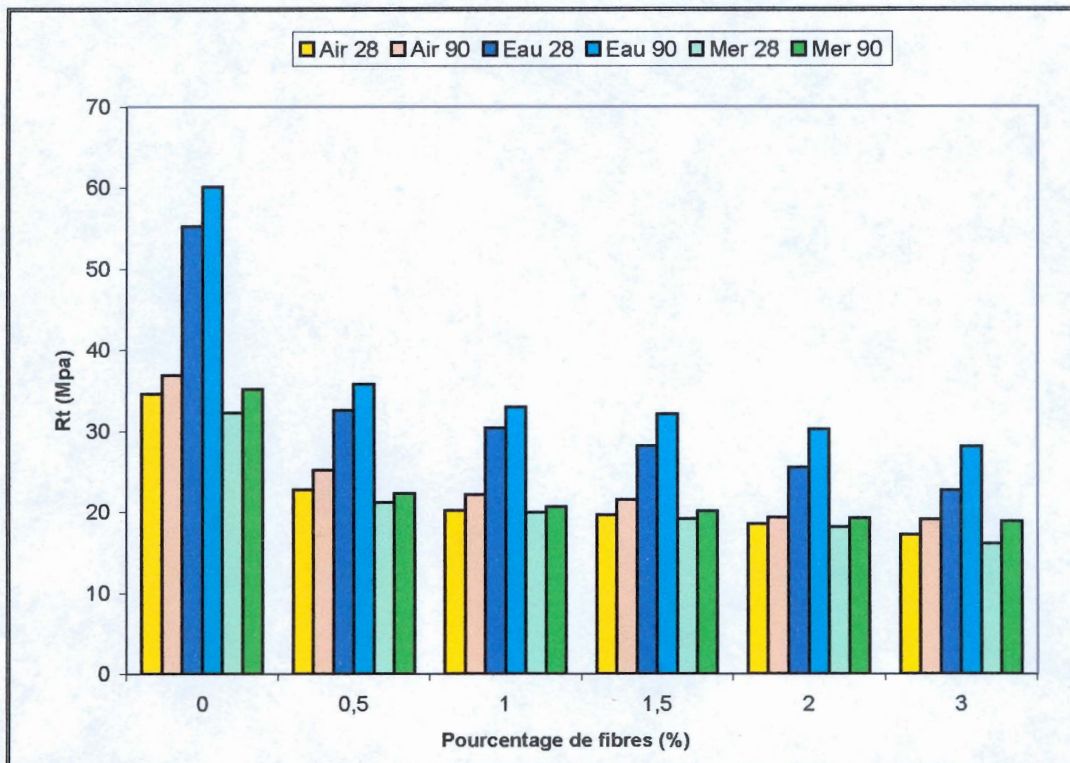


Figure (5-11) : Influence du pourcentage des fibres sur la résistance à la compression à 28 et à 90 jours (mortier type MFC)

Les figures (5-9), (5-10) et (5-11) montrent les résultats à la compression à 28 et à 90 jours des différents composites en fonction de la variation du pourcentage de fibres et en fonction du régime de cure (air du laboratoire, eau douce et eau de mer), On constate que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage de fibres dans les différents mortiers et que le mortier témoin reste le plus résistant.

Cette constatation est en accord avec les résultats de la littérature [4-29-30-56], qui affirment que l'ajout de fibres végétales au mortier n'a aucun effet bénéfique sur la résistance à la compression. Cela est expliqué par le fait que l'incorporation des fibres dans la matrice du mortier augmente le volume des vides et diminue la compacité du mortier, d'où une diminution de résistance à la compression.

Par ailleurs, bien qu'il y ait une évolution de résistance en compression en fonction de l'âge pour les trois (03) types de cures, les mortiers de fibres conservés dans l'eau douce, offrent des résistances supérieures à celles des mortiers conservés à l'air ou dans l'eau de mer. L'apport des fibres pour les mortiers conservés dans l'eau de mer n'a en définitive aucun effet bénéfique.

Enfin, on conclut que les fibres végétales n'améliorent pas la résistance à la compression.

5-8-3 Retrait

Selon la norme NFP-433 [70], des éprouvettes de mortier de dimensions 4x4x16 cm en nombre de 3 par essai, munies à leurs extrémités de plots ont été confectionnées pour mesurer le retrait des différents mortiers, à savoir, le mortier témoin (MT) et les mortiers (MF) à 1, 2 et 3% de fibres. Les mesures de retrait initial des différentes éprouvettes ont été faites. En suite les éprouvettes sont conservées dans l'air du laboratoire. On mesure le retrait 3, 7, 14, 28,56, 90 et 120 jours pour chaque type de mortier.

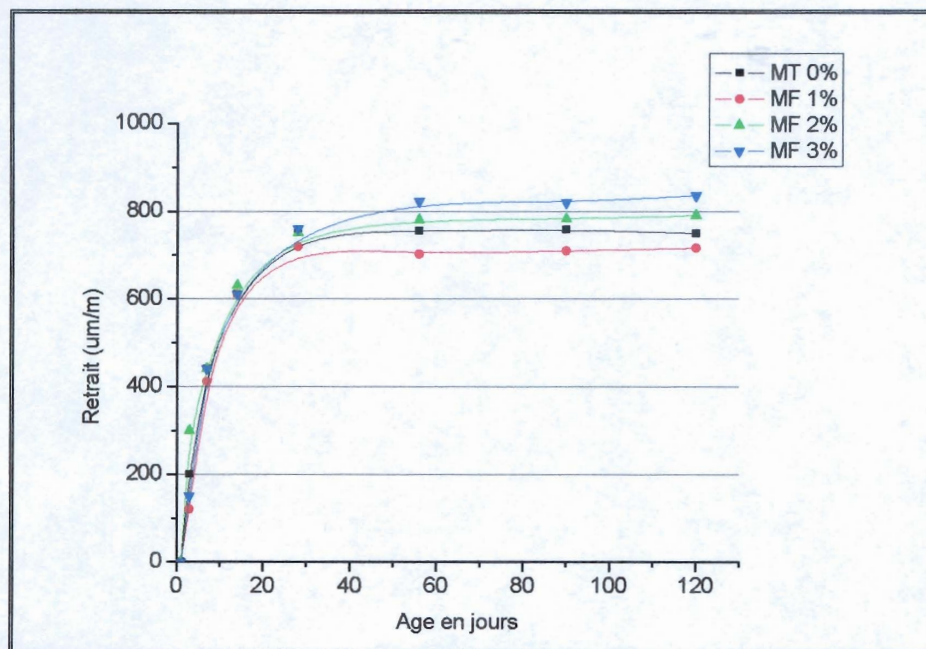


Figure (5-12) : Retrait des mortiers de fibres (MF) conservés à l'air du laboratoire

En observant les courbes de la figure (5-12), on remarque qu'elles suivent la même allure usuelle des bétons (mortiers) et de plusieurs autres matériaux.

On constate ainsi que jusqu'à 28 jours d'âge le retrait de ces mortiers est linéairement croissant, il se maintient relativement constant au de la du 54^{ème} jour d'âge et ce, pour chaque type de mortier. Au delà de 28 jours, le retrait des mortiers de fibres augmente avec l'augmentation du dosage en fibres à l'exception des barrettes de mortier à 1% de fibres. Ceci peut être expliqué par la bonne compacité de ce composite à faible dosage en fibres qui lui confère une bonne capacité de retenir les tensions internes dues au retrait, à l'inverse des mortiers à 2 et à 3% de fibres dont les taux de pores dans la matrice sont relativement importants.

5-8-4 Durabilité des mortiers de fibres

D'après plusieurs auteurs les fibres végétales telles que les fibres de sisal ou de noix de coco résistent mal aux alcalis [30-52-55-56]. La faible tenue des fibres dans les milieux alcalins, en particulier dans la chaux libérée par les ciments lors de l'opération d'hydratation, constitue une contrainte qui limite le champ d'utilisation de ces fibres dans les bétons et mortiers.

Afin d'apprécier la durabilité des mortiers de fibres cellulosiques d'alfa, des éprouvettes de mortier avec concentration optimale de fibres (1%) ont été soumises à un essai de durabilité dit séchage / mouillage [65].

Ces éprouvettes sont testées en flexion à l'issue de plusieurs cycles de séchage / mouillage à savoir 14,30 et 45 cycles. Le cycle qui dure 48 heures est défini comme suit :

- Immersion des composites dans de l'eau douce à $20 \pm 2^\circ \text{C}$ pendant 20 heures.
- On laisse ensuite ces éprouvettes à l'air du laboratoire à H.R= $65 \pm 2\%$ pendant 04 heures après les avoir retirées de l'eau.
- On les met alors dans une étuve à 100°C durant 20 heures.
- Enfin les éprouvettes seront refroidies pendant 04 heures à l'air du laboratoire à H.R= $65 \pm 2\%$

Le nombre des éprouvettes et les types de composite concernés par cet essai sont portés sur le tableau (4-10) en.

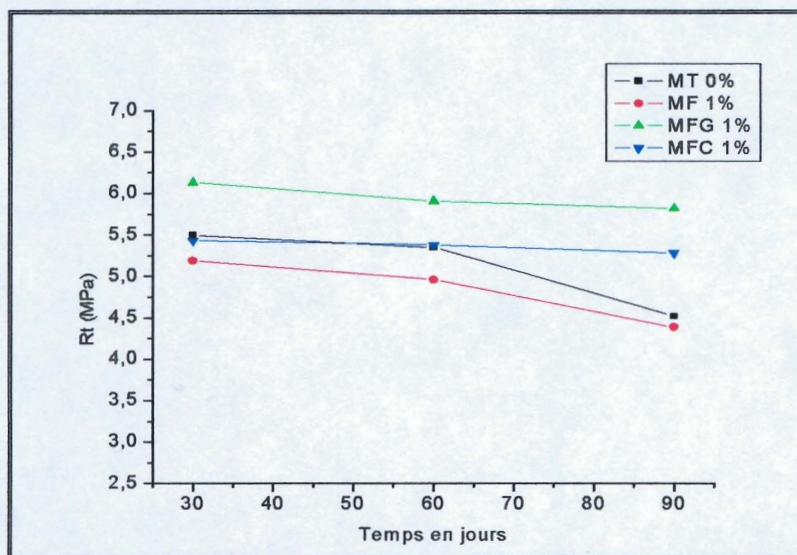


Figure (5-13) : Variation de la résistance à la traction par flexion des différents mortiers relative à l'essai de séchage / mouillage (1cycle de séchage / mouillage= 2 jours)

D'après la figure (5-13) nous remarquons une diminution de la résistance à la traction par flexion des éprouvettes des mortiers témoin et de fibres non imprégnées (MF1%) notamment à partir de 30 cycles (soit 60 jours). Cela est dû à la séparation des deux matériaux (fibre et matrice) d'une part à cause du gonflement des fibres engendré par l'absorption d'eau suivi d'un retrait, et d'autre part à des variations dimensionnelles causées par le gradient thermique des deux matériaux qui ne sont pas compatibles mécaniquement. Une autre raison est l'altération des fibres dans la matrice par la rupture des molécules de cellulose durant le vieillissement [15-54]. Cette dernière remarque est d'ailleurs en accord avec les résultats de TOLEDO sur le vieillissement rapide des matrices cimentaires renforcées par les fibres de sisal et les fibres de coco [13-51].

On constate de plus qu'après un certain nombre de cycle de séchage/mouillage ($\approx 30^{\text{ème}}$ cycle) la résistance à la traction du mortier témoin (MT) diminue d'une façon sensible ce qui est conforme au comportement de ce matériau face aux agressions climatiques.

Toujours sur les mêmes courbes de la figure (5-13) on remarque que la résistance à la traction des mortiers des fibres imprégnées par le gasoil sont meilleures que celles des mortiers de fibres imprégnées par la colophane indépendamment du nombre de cycles de séchage /mouillage.

5-8-5 Conductivité thermique

La conductivité thermique λ caractérise la capacité des matériaux recherchée à isoler thermiquement.

Tel qu'on le destine le matériau qu'on vient d'élaborer doit faire l'objet d'essais spécifiques afin d'apprécier son pouvoir isolant qui est l'inverse de la conductivité thermique λ . Ainsi plus λ est faible et plus le matériau sera isolant en particulier lorsque $\lambda \leq 1$.

Pour ce faire, on confectionne des éprouvettes de dimensions 4x8x16 cm adaptées à l'appareillage utilisé (CT METRE) pour les différents mortiers à savoir le, mortier témoin (MT), les mortiers de fibres non traitées dosés à 1%,2% et 3% (MF) et les mortiers de fibres imprégnées par la colophane dosés à 1%,2% et 3% (MFC). La valeur de la conductivité thermique λ sera la moyenne de trois mesures d'essais.

Les éprouvettes confectionnées sont conservées pendant 28 jours à l'air du laboratoire à $20 \pm 2^\circ \text{C}$.

La figure (5-14) montre l'allure de la courbe du coefficient de conductivité thermique λ en fonction du pourcentage de fibres.

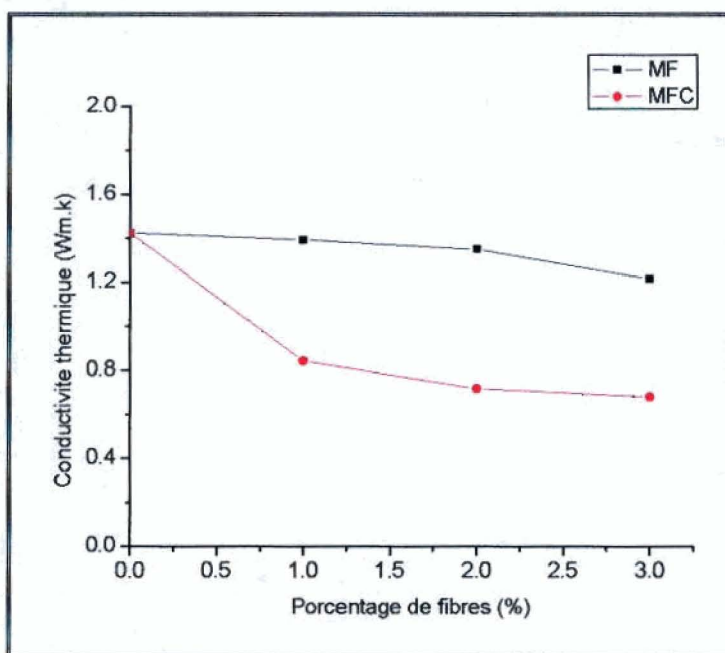


Figure (5-14) : Conductivité thermique en fonction du pourcentage de fibres des différents mortiers (MT-MF-MFC).

D'après la figure ci-dessus on remarque qu'à chaque fois qu'on augmente le pourcentage de fibres dans le composite la conductivité thermique diminue et ceci s'explique par le fait que les fibres incorporées engendrent dans le matériau une porosité et une baisse de masse volumique. Les fibres améliorent le pouvoir isolant, ce matériau composite devient un bon isolant thermique.

On remarque aussi que les conductivités thermiques pour les mortiers de fibres imprégnées (MFC) par le colophane sont faibles par rapport aux mortiers de fibres non traitées (MF) cela peut être expliquée par la meilleure répartition des fibres traitées dans le composite (répartition homogène des fibres).

Enfin on note que même si les concentrations sont relativement faibles, le mortiers de fibres traitées donne des valeurs de λ de l'ordre de 0,8 W/m° C ce qui est assez proche des performances d'un isolant.

**Conclusion
Générale
et
Recommandations**

CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS

L'Algérie possède d'énormes richesses en fibres végétales d'alfa, mais la valorisation de cette ressource naturelle dans le domaine de la construction reste insuffisante.

L'étude réalisée sur les propriétés mécaniques et physiques ainsi que sur la durabilité des mortiers de fibres d'alfa a montré que pour la confection des mortiers d'alfa, il faut tenir compte du fait que les fibres sont très flexibles et ont un pouvoir hydrophile très élevé. Afin de pouvoir comparer la variation des caractéristiques mécaniques et physiques des différents mortiers de fibres, le maintien d'une ouvrabilité relativement constante s'avère nécessaire (rapport E/C constant) avec un superplastifiant tel que le SIKAFUID™

En ce qui concerne la résistance à la compression des mortiers de fibres d'alfa, comme pour tous les mortiers de fibres végétales, cette résistance diminue en fonction de l'augmentation du dosage en fibres, car leur incorporation dans la matrice du mortier augmente le volume des vides et diminue donc la compacité du mortier.

Quant à la résistance à la traction par flexion des mortiers de fibres non traitées (MF), les éprouvettes conservées à l'air du laboratoire ont des résistances supérieures par rapport aux éprouvettes conservées dans l'eau douce et l'eau de mer; cette différence dans la résistance est principalement due à l'effet de l'eau sur la fibre. La fibre non protégée perd ses caractéristiques mécaniques par l'effet de mouillage et par sa présence dans un milieu alcalin relativement agressif. Cette diminution est due aussi à l'effet de l'eau sur le matériau dans sa totalité que ce soit fibres ou matrice, car dans le milieu saturé en eau, les liaisons d'hydrogène dans les fibres ou entre fibres et matrice sont détruites par insertion de molécules d'eau entre les groupes d'hydroxydes. De plus on observe que 1 % est la fraction optimale de fibres non traitées à introduire dans la matrice (mortier).

Les résistances en traction par flexion et en compression des mortiers de fibres imprégnées par le gasoil (MFG) sont globalement supérieures à celles des mortiers de fibres non traitées (MF). Ce gain de résistance des fibres est dû d'une part à la protection des fibres par le gasoil et une à meilleure distribution des fibres dans le mortier d'autre part. Cette distribution est attribuée au caractère lubrifiant du gasoil. Donc l'imprégnation permet de protéger les liaisons d'hydrogènes entre les fibres et la matrice contre la pénétration des molécules d'eau.

L'imprégnation au gasoil avec des concentration de 0,5 à 1% a permis d'obtenir des résistances en flexion améliorées par rapport aux mortiers sans fibres ou avec fibres traitées à la colophane ou non traitées. L'optimum est ici encore avec une concentration de 1% en fibres traitées au gasoil.

En ce qui concerne la résistance à la traction par flexion des mortiers de fibres imprégnées par la colophane (MFC), on relève que la conservation dans l'eau douce permet d'obtenir de meilleurs résultats qu'à l'air.

Enfin, nous constatons que bien que le gain (relatif) de résistance entre 28 et 90 jours soit plus important avec des fibres imprégnées à la colophane, les fibres traitées au gasoil restent celles qui donnent les plus grandes résistances en valeurs absolues.

Concernant le comportement en traction par flexion après conservation dans l'eau de mer, on s'aperçoit que le renfort par les fibres (notamment à la concentration optimale à 1 % en fibres imprégnées au gasoil) ne suffit pas à compenser la perte de résistance due à l'agressivité du milieu.

L'étude du retrait des mortiers de fibres d'alfa non traitées a permis de constater que les retraits des mortiers de fibres augmentent en fonction du dosage des fibres dans la matrice ; cependant, seuls les mortiers avec le dosage volumique de 1% de fibres ont présenté un retrait inférieur à celui du mortier témoin. Ceci peut être expliqué par la bonne compacité de ce composite à faible dosage en fibres qui lui confère une bonne capacité à retenir les tensions internes dues au retrait, à l'inverse des mortiers à 2 et à 3% de fibres dont la porosité est plus élevée.

En ce qui concerne la durabilité, on s'aperçoit que les résistances en traction des mortiers de fibres traitées restent constantes et insensibles aux cycles de séchages/mouillages, et ce contrairement aux mortiers témoins ou de fibres non traitées dont les résistances baissent sensiblement au delà du 30^{ème} cycle. L'imprégnation apporte donc une amélioration nette de la durabilité des mortiers de fibres. De plus l'adjonction des fibres imprégnées améliore aussi ce comportement par rapport au mortier témoin.

La conductivité thermique diminue à chaque fois qu'on augmente le pourcentage de fibres dans la matrice du mortier, ceci s'explique par le fait que les fibres incorporées engendrent dans le matériau une porosité et une baisse de masse volumique sensible. Les fibres améliorent donc le pouvoir isolant. Enfin on note que même si les concentrations sont relativement faibles, le mortiers de fibres traitées donne des valeurs de λ de l'ordre de 0,8 W/m° C ce qui est assez proche des performances d'un isolant.

En terme de perspectives, du fait que les fibres n'offrent à l'interface que de très modestes résistances d'adhérences, et afin de compenser ces défauts, un traitement spécial de leurs surfaces est recommandé, par exemple un raffinage mécanique, car les fibres raffinées présentent une grande aptitude à l'enchevêtrement entre elles.

D'après les résultats obtenus dans cette étude, et pour pouvoir mieux estimer les performances de ce type de mortiers, il est nécessaire d'étudier d'autres caractéristiques à savoir :

- Diminution de l'alcalinité des ciments par l'ajout de produits spéciaux.
- La mauvaise distribution des fibres d'alfa dans le mortier reste un obstacle dans l'achèvement d'échantillon homogène, d'où la nécessité de trouver un procédé efficace de malaxage (volume, vitesse de rotation, ajout d'adjuvant, durée, longueur de la fibre, traitement de la fibre) et l'établissement d'une norme de mise en œuvre.
- Résistance au choc.
- Etude du fluage

Enfin, nous souhaitons aussi que notre travail contribue d'une façon rationnelle à une plus large diffusion de l'utilisation des mortiers renforcés de fibres végétales d'alfa dans le domaine de la construction.

Bibliographies

BIBLIOGRAPHIES

- [1] -DUNSTAN, I., "Fibre reinforced cement and concrete research into practice ". Third Rilem International Symposium on Development in fibre reinforced cement and concrete, 14-17 JULY 1986, UK. Thèse de docteur, université de Bordeaux, juin 1990.
- [2] -COOK, D.J., "Concrete and cement composites reinforced with natural fibers", Proc. Symp. On Fibrous concrete. Construction Press Ltd, Lancaster, pp. 99-144, April, 1980.
- [3] -KHENFER. M.M., " Plâtre renforcé de fibres cellulosiques ". Materials and Structures, Vol 32, pp 52-58, January-February 1999.
- [4] -RAMASWAMY. R.H.S, AHUJAT. B. M, KRISHNAMOORTHY. S. "Behavior of concrete reinforced with jute, coir, bamboo fibers ". The international journal of cement composite and light weight concrete, volume 5, N°1, February.
- [5] -SAVASTANO.H and AGOPYAN ,V. "Transition zone studies of vegetable cement paste composites ". Cement and concrete, composites, 21, pp.49-57, 1999.
- [6] -BLEDSKI, A.K. and GASSAN J. "Composite reinforced with cellulose based fibres ", Progress in polymer Science, 24, pp.221-274, 1999.
- [7] -BOLTON A.J, "Natural fibers for plastic reinforcement ", Materials Technology 9, pp 12-20, 1994.
- [8] -LEAO, A.L., ROWELL, R., and TAVARES, N., "Applications of fibres in automotive industry in Brazil Thermoforming process", Science and technology of polymers and advanced materials, Edited by PRASSED, P.N et al, Plenum Press, New York, 1998.
- [9] -KHENFER. M. M. " Caractérisation structurale et rhéologique des ciments et des plâtres renforcés de fibres cellulosiques". Thèse de docteur, université de Bordeaux, juin 1990.
- [10] -HOLMER. S, VAHAN. A. "Transition zone studies of vegetable fibre-cement paste composites". ELSEVIER, Cement and concrete composites, vol. 21, pp 49-57, 1999.
- [11] -NILSON, L., " Reinforced Concrete with Sisal and other vegetable fibre ", Swedish Counc.il for building research, Document D14, 1975.
- [12] -AYYAR, T.S.R and MIRIHAGALLA, P.K. " Elephant grass fibres as reinforcing fibre ". Magazine of concrete research, Vol, 28, N°96, 162-167, September 1976.
- [13] -TOLEDO FILHO, R.D, SCRIVER, K, ENGLAND, GL, and GHAVAMI, K. " Development of vegetable fibre mortar composites of improved durability " Cement and concrete, composites, 25, 2003(article in press).
- [14] -SWAMY, R.N., " Properties of high strength concrete" Cement, concrete and aggregates, vol.8, N°1, pp. 221-274, 1986.

- [15] -MOKHTARI, F. "Contribution à l'étude de composites à base de liant pouzzolaniques et de bambou ". Thèse de doctorat, INSA de Lyon, France, 1991.
- [16] -BATTANDIER A. TRABUL L, "Connaissances actuelles sur l'alfa « Stipa tenacissima L » " biocénoses, Bulletin d'écologie terrestre, URS, T3, N° 12, 1988, pp 45.
- [17] -RODIN L.E et VINOGRADOV, "Etudes géobotaniques des pâturages du secteur ouest du département de Médea de la république algérienne démocratique et populaire", Ed. Nouka, Léninegrad, 1970, pp 124.
- [18] -EL GHAZI , M. HALOUI , B. JANIN,G. "Valorisation énergétique de l'alfa au Maroc Oriental, ". Ann. Rech.for. Maroc T29 , pp.88, 1996.
- [19] -MONTIES.B, "Les polymères végétaux- GAUTHIER" Villar, Bordas, Paris 1980.
- [20] -JANIN.M, " Structure, composition et formation du bois" A.R.BO.LOR, école d'hiver sur le bois, jan.24-29 1983.
- [21] -BOURZAM, A. " Effet des fibres de palmier et d'alfa sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres naturelles". Thèse de Magister, ENP, 1999.
- [22] -HARCHE M, BOUNAGA D, Etude comparative du tissu fibreux dans la feuille d'alfa <Stipa tenacissima>, Bull.soc.hist.nat, Alger 1969.
- [23] -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 du matériau". Thèse de Doctorat d'Etat Es Sciences, INSA de Lyon, France, 1988.
- [24] -ROSSI, P., HARROUCHE,N. et LEMAOU, F., "Comportement mécanique des bétons de fibres métalliques utilisés dans les structures en béton armé et précontraint ",Annale de l'ITBTP, N°479,Dec, 1989.
- [25] -DASGUPTA,N.C., PARAMASIVAM,P., and LEE, S.L., "Mechanical properties of coir reinforced concrete paste composites ", Housing science, pergamon press inc., Vol 2, N°5,pp 391-406, London, 1978.
- [26] -JEAN MARIE. B. "Matériaux composite, comportement mécanique et analyse des structures". Institut universitaire de technologie, édition Masson, Paris, 1996.
- [27] -MESKINI. A et BABA. K. "Bétons renforcés de fibres " Etude bibliographique- Revue Marocaine du génie civil, N°39 Juin 1992.
- [28]-GUTT.W., "Development in fibers composite".G.H.C.I.B, Congress Budapest, October 1974.
- [29] -SWAMY. R. N, MANGAT. P. S. "Influence of fiber reinforced concrete". ELSEVIER , Cement and concrete composites, volume 4, N° 3, 1974.

- [30] -LEWIS .,G. and PREMAL, M. "Naturel vegetable fibre as reinforcement in cement sheets ". Magazine of concrete research, Vol 31, N° 107,June 1979.
- [31] -MANGAT. P.S, AZARI. M. "Influence of steel fiber reinforced on the fracture behavior of concrete in compression ". The international journal of cement composite and light weight concrete, volume 6, N°4, November 1984.
- [32] -LIM, T.Y, PARAMSIVAM, P and LEE, S, L. "Bending behaviour of steel fiber concrete beams ". A.C.I, Structural Journal, Nov, Dec 1987.
- [33] -MANGAT. P. S. "Tensile strength of reinforced concrete ". USA Cement and concrete research, volume 6, N°2, Mars 1976.
- [34] -AGGARWAL. L. K. "Bagasse-reinforced cement composites ". ELSEVIER, Cement and concrete composite, volume 17, 107-112, 1995.
- [35] -ALI. M. A, SINGH. B. "The effect of porosity on the properties of glass fibre-reinforced gypsum plaster ". Journal of materials science, pp.1920-1926, 1975.
- [36] - ANDONIAN. A. L , MAI. Y. W, COTTERELL. B. "Strength and fracture properties of cellulose fibers reinforced cement composites". The international journal of cement composite and light weight concrete, volume 11, N°3, pp.151-158, 1979.
- [37] -COUTTS. R. S. P. "Autoclaved bamboo pulp fibre reinforced cement ". ELSEVIER, Cement and concrete composite, volume 17, pp.99-106, 1995.
- [38] -KHENFER. M. M, MORLIER. P. " Effet de la longueur des fibres sur les propriétés mécaniques des ciments renforcés de fibres cellulosiques ". Materials and structures N° 24, pp.185 – 190, 1991.
- [39] -BOUCHEKOUK, M., " Etude du béton renforcé par des fibres de verre enduites de polymères thermoplastiques"Thèse de Doctorat, INSA de Lyon,France, 1992.
- [40] -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, ENP, ALGER, 2005.
- [41] -SWAMY. R.N., and STAVIDES. H., "Influence of fiber reinforced on restrained shrinkage and cracking ", ACI journal, 76(3),pp. 443-460, March 1979.
- [42] -VERBECK G.J." Carbonatation of hydrated Portland cement ".ASTM, Sp. Tech Publ.205, pp, 17-36, 1958.
- [43] -BARR,B .,HOSEINIAN,S.B and BEYGI, M.A., "Shrinkage of concrete stored in natural environments " Cement and concrete composites, 25, pp 19-29,2003.
- [44] -SOROKA.I." Concrete in Hot Environments ".Edition FN SPON, London.

- [45] -ACI Committee 209, "Prediction of creep, shrinkage and temperature effects in concrete structures "ACI SP 76-10 Detroit, pp 255-261, 1982.
- [46] -BAZANT, Z.P., PANULA, L., KIM, J. and XI, Y., "Improved prediction model for time-dependent deformation of concrete part 6- simplified code type formulation ". Mater struct. Vol.25, N°150, pp 219-223, 1992.
- [47] -HORNAIN, H. " Aspect microstructuraux des bétons de fibres métalliques". Colloque Francophone Bethune (Pas-de-Calais) 4 et 5 Juillet, 1994.
- [48] -ABSI, E. "Béton de fibres : Synthèse des études et des recherches réalisées au CEBTP ". Annales de ITBTP, N° 520, pp 85-120, Jan, 1994.
- [49] -VALAD, T. " Comportement des bétons armés de fibres". Mémoire DEA, LCPC, Dec, 1987.
- [50] -BANTHIA, N. and DUBEY, A. " Measurement of flexural toughness of fiber reinforced concrete using a novel technique part, 1". ACI Materials Journal, Nov- Dec, 1999.
- [51] -TOLEDO FILHO, R.D , SCRIVER, K, ENGLAND, GL, and GHAVAMI, K. " Durability of alkali sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites" Cement and concrete, composites, 22, pp 127-143, 2000.
- [52] -BEAUDOIN , J.J. " Béton renforcé de fibres" Institut de Recherche en Construction (IRC), Conseil National de Recherche, Canada, pp 4, 1982.
- [53] -BENTUR, A. and AKERS, S.A.S. " The micro structure and ageing of cellulose fibre reinforced cement composites cured in a normal environment ". The International journal of cement composites and light weight concrete, Vol 11 N°2, May, 1989.
- [54] -KHENFER. M.M, MORLIER. P. " Caractérisation et microstructure des ciments renforcés de fibres de cellulose". Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées 224, Réf 4236, pp 49-58, Janvier-Février 2000.
- [55] -COUTTS, R.S.P. " From forest to factory to fabrication". Fibre Reinforced cement and concrete, Edited by Swamy R.N, Rilem 1992.
- [56] -AZIZ, M.A., PARAMASIVAM, P and LEE, S.L., " Prospect for natural fibre reinforced concretes in construction ". The international journal of cement composites and lightweight concrete, Vol. 3, N°2, May 1983.
- [57] -CANOVAS, M.F , SELVA, N, KAWICHE, G.M. " New economical solution for improvement of durability of portland cement mortars reinforced with sisal fibre ". RILEM, Vol 25, 1992.
- [58] -JANIN, G., ORY, JM. " Technique des microcuissons papetières "Annales des sciences forestières, 38, Grenoble, France, 1981, p p107 à 126.

- [59] -JANIN, G., ORY, JM, THIERCELIN , F. " Mesures automatiques de la longueur des fibres de l'appareil Histofibre "ATIP, Vol 43, N°9 Novembre 1989, pp 451.
- [60] -RAMIREZ, C.A., "Physical mechanical properties of fibre cement elements made of rice straw,sugar cane bagasse,banana racquis and coconut husk fibres "Rilem Sheffield univ, July, pp 1203-1213, 1992.
- [61] -KHENFER. M. M, MORLIER. P. " Effet de la longueur des fibres sur les propriétés mécaniques des ciments renforcés de fibres cellulosiques". RILEM, May 1991, Vol 24, N° 41, pp.185-190.
- [62] -DREUX G. " Nouveau guide du béton ". Collection UTI-ITBTP 3 eme ED 1981.
- [63] -Norme Française : Granulats. Analyse granulométrique par tamisage, AFNOR, Paris, 1990
- [64] -Norme Française : Technique des essais, Malaxeur, AFNOR, Paris, 1960.
- [65] -SARIGAPHUTI M. , SHAH S.P., VINSON K.D. " Shrinkage cracking and durability characteristics of cellulose fiber reinforced concrete ". ACI Materials Journal, July-August, 1993, pp. 309-318.
- [66] -SOROUSHIAN P., MARIKUNTE S. , WONG J-P. " Satisfical evaluation of mechanical and physical properies of cellulose fiber reinforced cement composites ". ACI Materials Journal,.
- [67] -Norme Européenne : Détermination des résistances mécaniques, AFNOR, Paris, mars 1999.
- [68] -Norme Française : Technique des essais. Caractérisations des ciments par mesure de la fluidité sous vibration des mortiers juin 1987.
- [69] -Norme Française : Béton. Mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers aux maniabilimètres, AFNOR, Paris, mai 1988.
- [70] -Norme Française : Technique des essais. Essai de retrait et de gonflement, AFNOR, Paris, juillet 1993.
- [71] -LEHEMBRE.B.,. "Guide des métiers du bâtiment, l'isolation et l'étanchéité"Edition Nathan, Paris, 1997.

ANNEXES



Photo 1: "La mer d'Alfa" sur les hauts plateaux Algériens

Tableau (1) : Application de divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment [4-9]

Type de fibre	Application
Verre	Panneaux préfabriqués, murs, rideaux, tuyaux d'égout, toiture en voile mince, enduit
Acier	Elément de toitures en béton cellulaire, linteaux, revêtements de chaussée, tabliers de pont, produit réfractaire, tuyaux en béton, piste d'atterrissage, réservoirs sous pression, travaux de restaurations.
Polypropylène nylon	Pieux de fondation, pieux précontraints, panneaux de revêtement, éléments flottant de débarquement et amarres pour les marinas, réparation des routes, tuyau sous – marin, travaux de restauration bâtiments.
Amiante	Voiles, tuyaux, 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, planches d'échafaudage.
Particules de mica	Panneaux, tuyaux, travaux de restauration
Végétale	Dalles, tuiles.

Tableau (2) : Propriétés mécaniques d'une résine renforcée par des fibres naturelles et fibres de verre [41].

Fibre – Matrice	Densité	Résistance à la flexion (Gpa)	Module de flexion (Gpa)	Fraction de fibres en Vol (%)
Bois/Phénolique "répartition au hasard"	1.2	0.11	8.0	65
Jute/ Polyster "tisser"	1.2	0.090	8.0	50
Jute/ Polyster "filer"	1.2	0.1	10	60
Coton / Epoxy	1.36	0.170	8.0	35
Jute / Epoxy "parallèle"	1.2	0.450	43.5	70
Kenaf/ Epoxy "parallèle"	1.2	0.420	39.0	70
Verre / Epoxy "bien ranger"	1.7	0.690	42.0	70
Verre / Epox "répartition au hasard"	1.9	0.172	10.3	70

Tableau (3): Propriétés mécaniques d'un matériau composé par 50 % de fibres végétales et 50 % de polypropylène (PP) [42].

Fibre / Matrice	Résistance à la traction (MPa)	Module de traction (GPa)	Résistance à la flexion (MPa)	Module de flexion (MPa)
Ramie/PP	34.67	3.43	29.33	3.02
Jute/PP	15.66	2.40	23.97	2.50
Curaua/PP	46.58	3.78	33.10	2.51

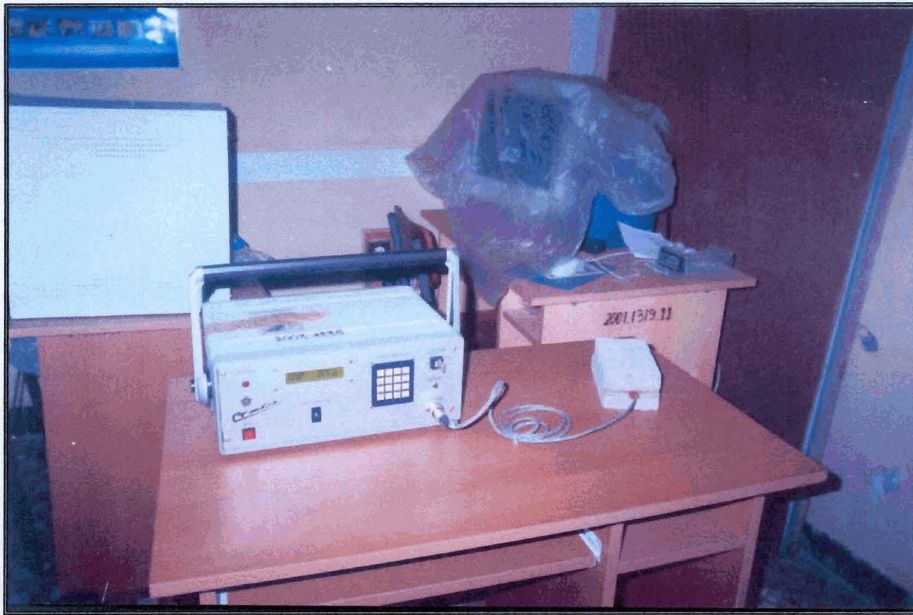


Photo 19 : Appareillage pour l'isolation thermique



Photo 20 : Essai équivalent de sable

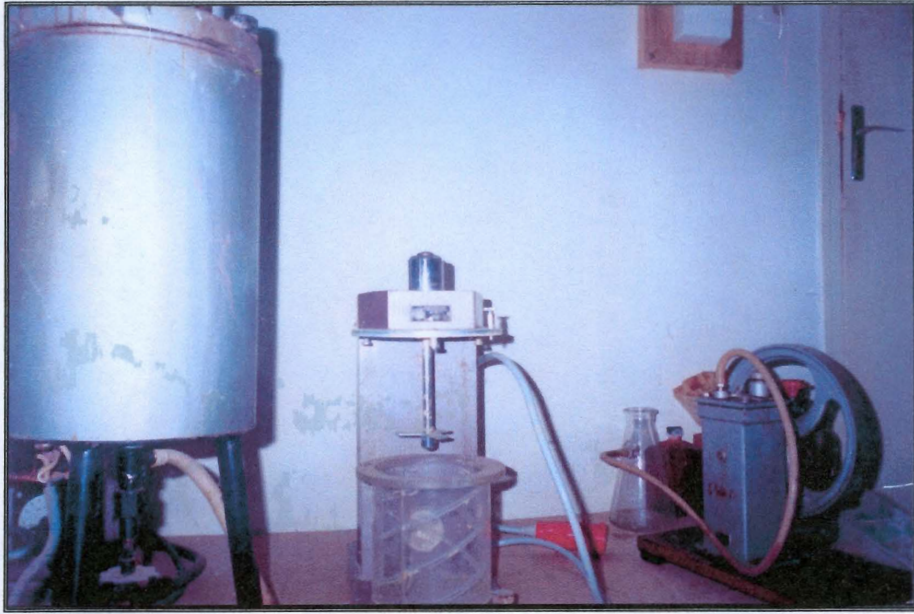


Photo 17 : Appareillage de défibrage



Photo 18 : Microscope biologique



Photo 15 : Appareillage de compression utilisé pour le mortier

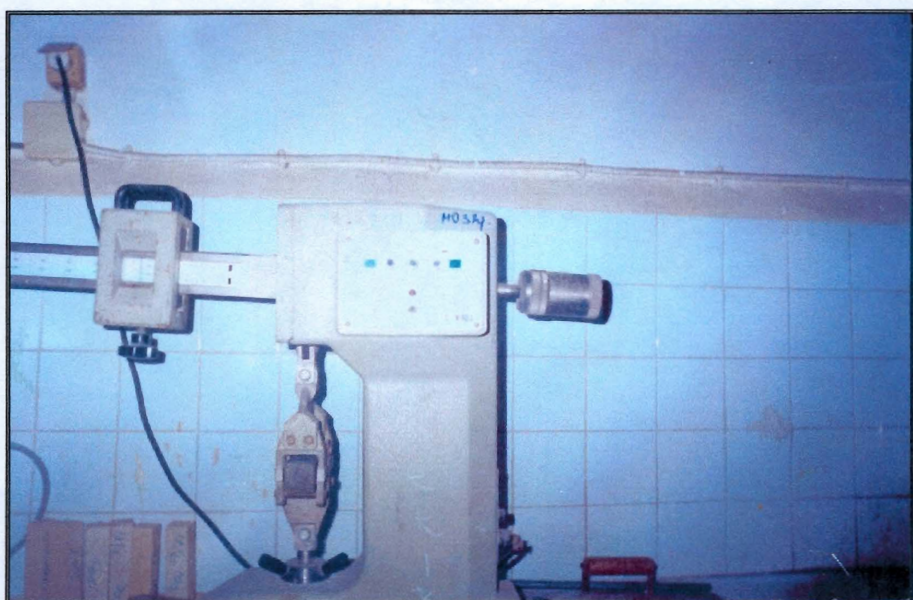


Photo 16 : Appareillage de traction par flexion utilisé pour le mortier

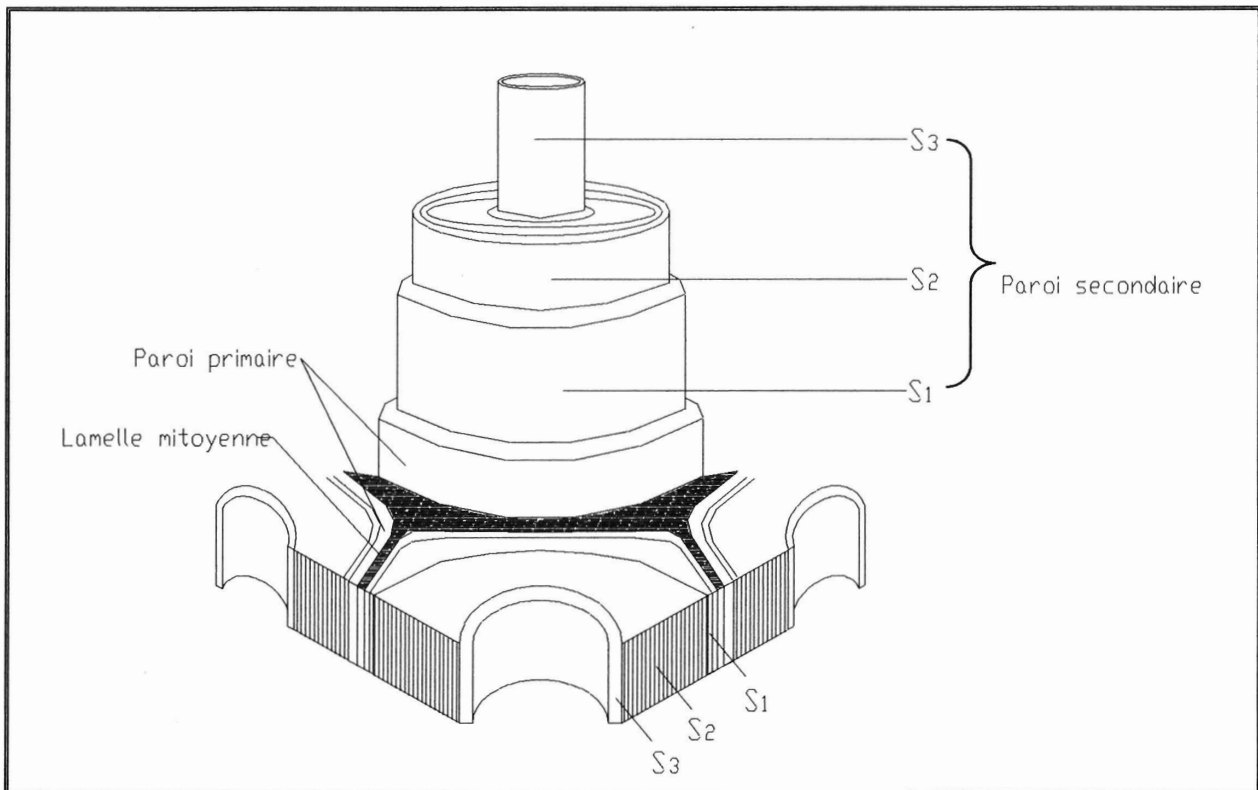


Photo 13: Vue perspective : différents parois de la fibre cellulosique

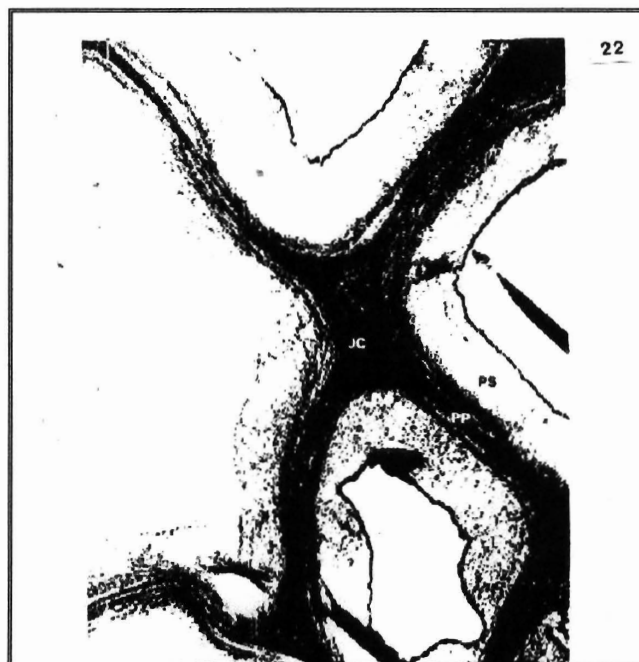


Photo 14 : Observations réalisées sur coupes transversales de parois de fibres

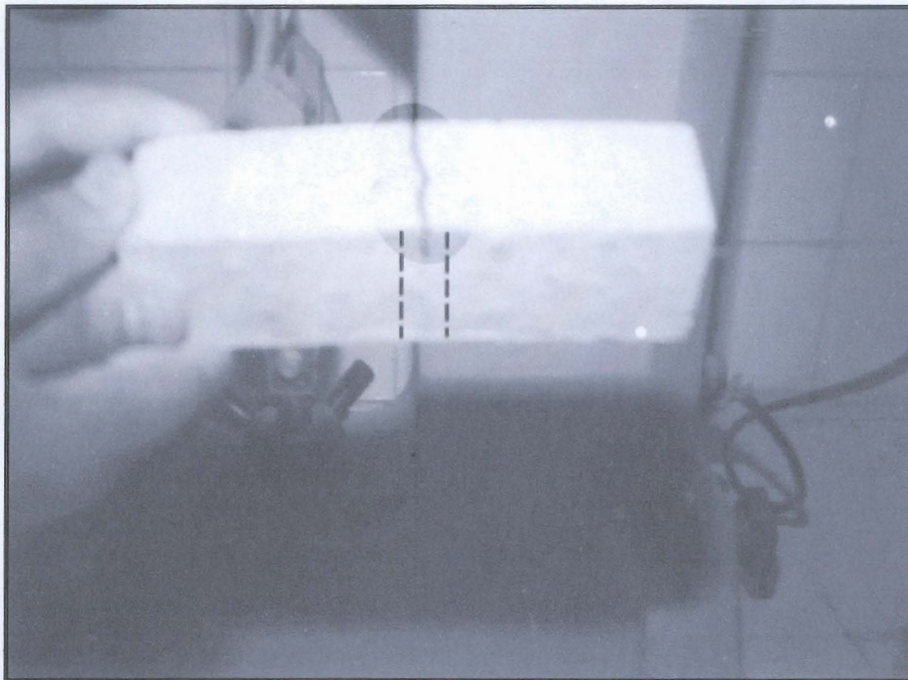


Photo 12: Echantillon après essai de traction par flexion (notons la continuité des fibres "effet de couture")

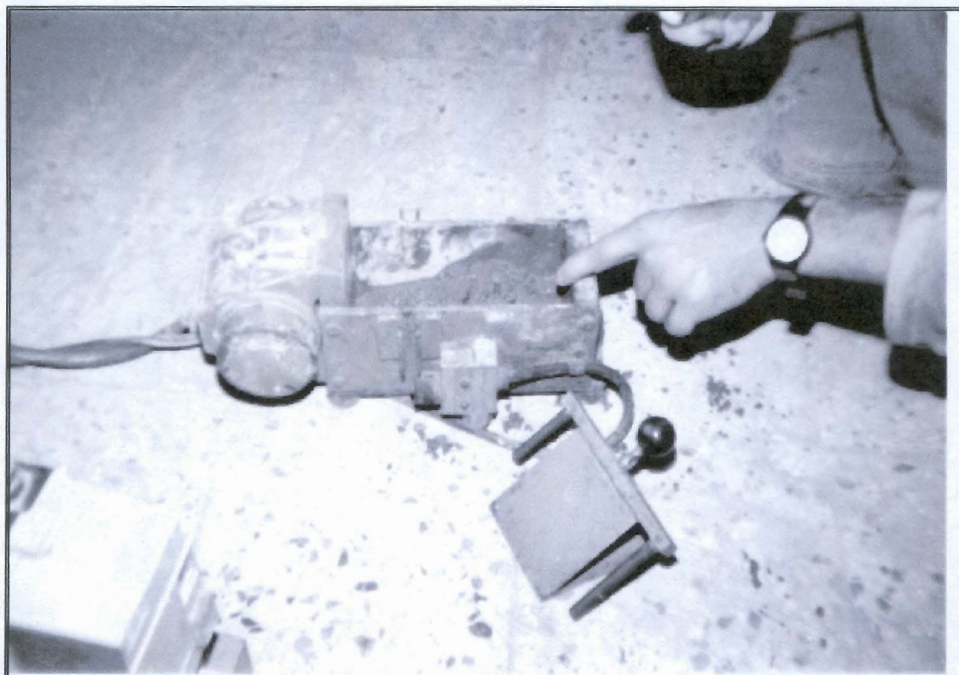


Photo 13: Vue générale du maniabilimètre

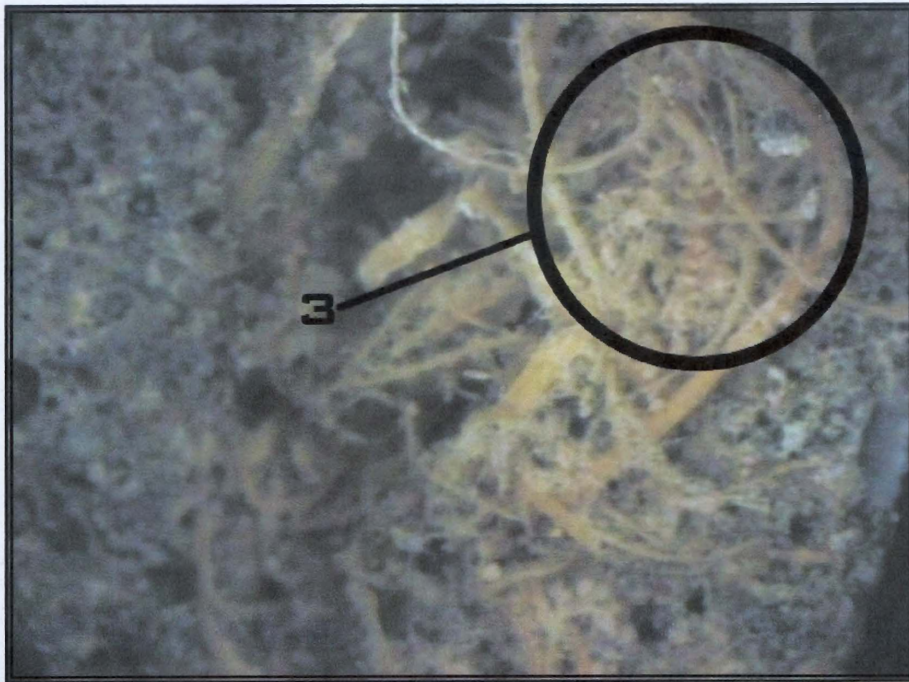


Photo 10: Observation à la vidéo microscope (grossissement x25)



Photo 11: Après écrasement de l'éprouvette, agglutination de fibre (grossissement x50)



Photo 8: Vue rapprochée des fissures ainsi la présence des incuits



Photo 9: Continuité des fibres



Photo 6: Vue de fissure (notons la continuité des fibres) motier1%
(grossissement x25)

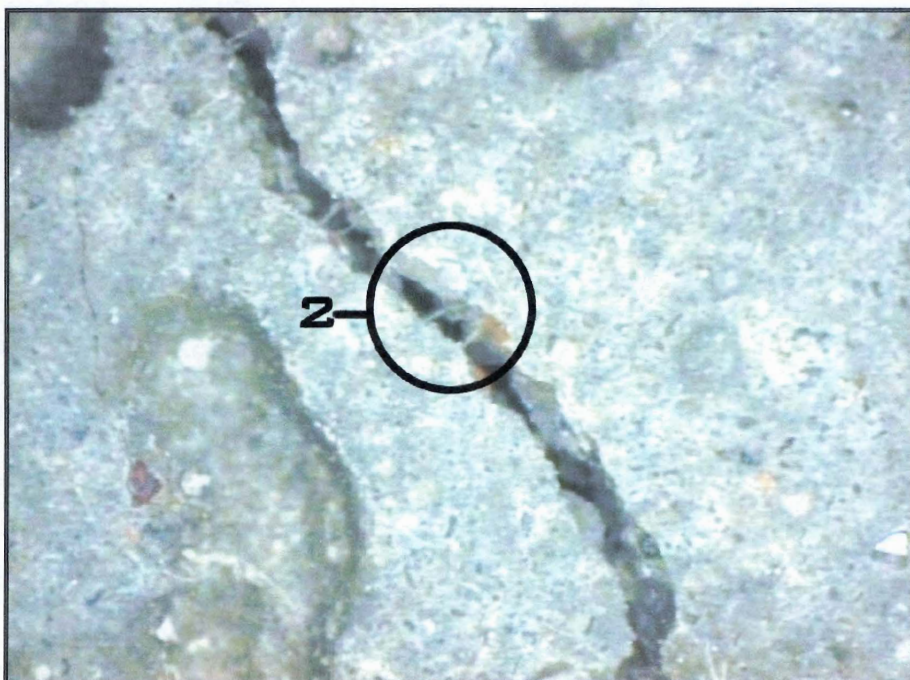


Photo 7: Les fibres bloquent l'ouverture des deux lèvres de la fissure
(grossissement x25)

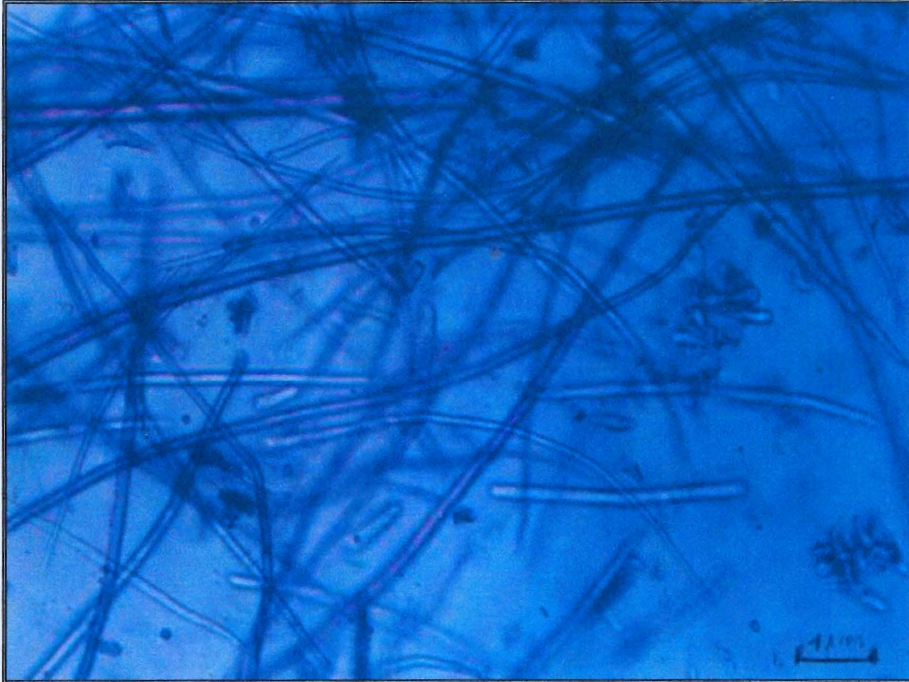


Photo 4: Vue microscopique des fibres (grossissement 9x10)

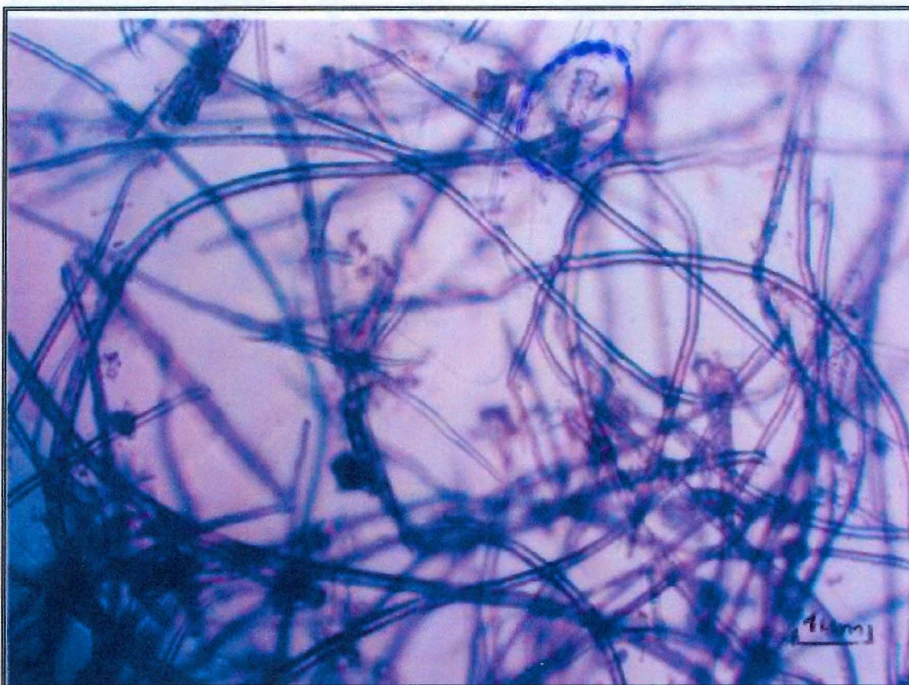


Photo 5: Pâte d'Alfa : fibres et éléments accessoires (grossissement 9x10)



Photo 2: Pâte cellulosique d'Alfa après macération et défibrage



Photo 3: Pâte cellulosique d'Alfa après macération et défibrage

SIKAFLUID®

Superplastifiant - Haut Réducteur d'Eau.



Conforme à la norme NF EN 934.2.

Présentation

Le SIKAFUID, produit de synthèse, est un super-plastifiant énergétique qui améliore la mise en place du béton en augmentant les résistances mécaniques.

Couleur : marron foncé.

Caractères généraux

Par son action physico-chimique, le SIKAFUID permet :

sur béton frais :

- d'augmenter considérablement la fluidité du béton, donc de faciliter sa mise en place en diminuant les temps unitaires,
- d'améliorer la pompabilité du béton.

sur béton durci :

- d'augmenter les résistances mécaniques,
- d'accroître la compacité,
- d'augmenter l'imperméabilité.

en béton étuvé :

- d'économiser l'énergie (chauffage, vibration, matériel).
- d'améliorer la rotation des coffrages.

Le SIKAFUID est compatible avec tous les ciments, exception faite des liants alumineux.

Domaines d'utilisation

Le SIKAFUID s'utilise dans deux domaines privilégiés.

1 - Amélioration de la maniabilité,

à résistances égales, sans réduction d'eau.

Béton avec CPA-CEM I 52,5 R (350 kg/m ³) E/C = 0,5						
SIKAFLUID	Eau 1/m ³	Cône en cm	Résistance à la compression (MPa)		Résistance à la traction (MPa)	
			1 j	28 j	1 j	28 j
Témoin	175	7	10,0	43,0	0,8	2,6
0,5 %	175	14	10,5	44,0	0,8	2,6
0,75 %	175	16	12,0	45,0	0,9	2,7
1 %	175	18	13,0	45,5	0,9	2,7

Le SIKAFUID a la propriété de transformer un béton ferme ou plastique (cône 3 à 7 cm) en un béton fluide (cône supérieur à 15 cm) en conservant les résistances.

Le béton se met en place très facilement avec une légère vibration. Un piquage soigné est nécessaire si l'on ne vibre pas.

Le SIKAFUID est, dans ce cas, recommandé pour les bétons très ferraiillés :

- **Bâtiment** : planchers, poutres, poteaux, panneaux.
- **Génie civil** : ouvrages d'art, réservoirs.

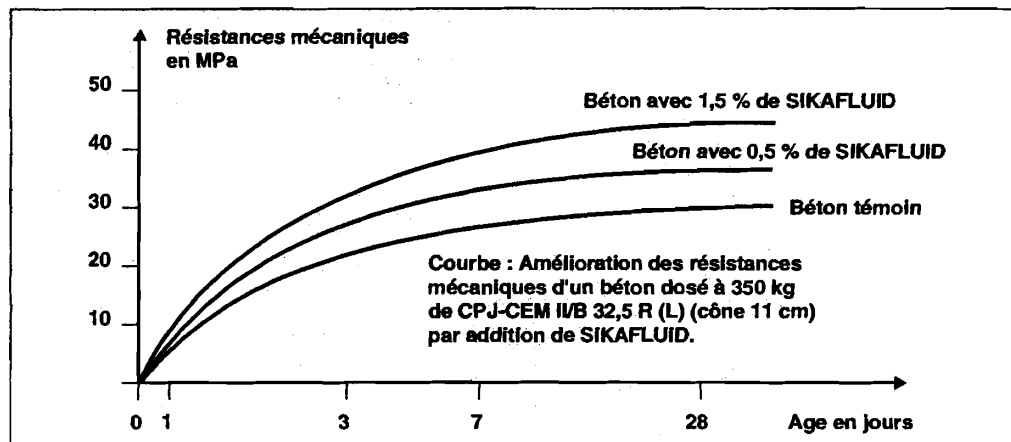
2 - Amélioration des résistances et de la maniabilité

avec réduction d'eau partielle (5 à 10 %) pour un dosage en SIKAFUID de 0,6 à 1,25 % du poids du ciment.

Le SIKAFUID permet également d'améliorer la mise en place des bétons en augmentant en même temps leurs résistances (15 à 40 %).

Le SIKAFUID est utilisé dans ce cas pour :

- les bétons armés de toutes performances,
- les bétons préfabriqués (étuvés ou non).



Caractéristiques physiques et chimiques

- Solution aqueuse.
- Densité : $1,20 \pm 0,02$.
- pH : $7,5 \pm 1,5$.
- Teneur en chlorures : $< 0,1 \%$.
- Teneur en Na_2O équivalent : $\leq 1 \%$.
- Extrait sec : $40 \pm 1,5 \%$.

Conditionnement

- Tonnelet de 30 litres.
- Fût de 250 kg.
- Vrac.

Stockage - Conservation

Le produit stocké dans son emballage d'origine intact se conserve 3 ans.

Le produit peut geler à basse température. En cas de gel prolongé, vérifier s'il n'a pas été déstabilisé.

Dosage

Plage d'utilisation recommandée

0,4 à 2,5 % du poids de ciment, suivant les performances recherchées.

Plages de dosage NF :

- béton primaire ferme : 0,65 à 1 %,
- béton primaire plastique : 0,4 à 0,8 %.

Prescriptions

Article n°

Les bétons très ferrailés, à coffrages complexes ou n'autorisant qu'une vibration légère, seront additionnés d'un fluidifiant énergétique du type SIKAFUID ou similaire.

Le produit devra être utilisé suivant les prescriptions du fournisseur.

Mode d'emploi

Selon les lieux de fabrication du béton, nous préconisons les emplois suivants :

Béton prêt à l'emploi

Le SIKAFSLUID est ajouté dans l'eau de gâchage ou dans le malaxeur au moment de la confection du béton.

Chantiers et préfabrifications

Le SIKAFSLUID sera ajouté au béton au début du dernier tiers du temps de malaxage après la fin de l'introduction de l'eau de gâchage.

Le SIKAFSLUID est ajouté au béton dans le camion malaxeur, sur le chantier.

Malaxer à grande vitesse pendant au moins une minute par m³ de béton.

Précautions

Manipulation non dangereuse.

En cas de contact avec la peau, un simple lavage à l'eau suffit.

Consulter la fiche de données de sécurité accessible par Minitel 3613, code SIKASECUR ou sur internet <http://www.sika.fr> (services gratuits).

Indications normalisées

Temps de fin de prise selon NF EN 480.2.

	CPA-CEM I 52,5 HTS Le Teil		CPA-CEM I 52,5 Gargenville	
	20°C	5°C	20°C	5°C
SIKAFSLUID 0,4 %	7 h 30	15 h 30	7 h 00	12 h 00
SIKAFSLUID 1 %	8 h 30	21 h 00	7 h 30	18 h 00

NOTA :

Tous les bétons ne sont pas aptes à être fluidifiés (risque de ségrégation).

Pour supprimer cette ségrégation, les bétons destinés à être fluidifiés doivent avoir une teneur suffisante en éléments très fins.

Il est souvent admis que l'ajout de 5 % de sable très fin (< 0,3 mm) à un béton de qualité courante le rend fluidifiable.

Généralement, le dosage en fins (ciment + sable fin) est de l'ordre de 450 kg/m³ de béton lorsque le diamètre des plus gros agrégats ne dépasse pas 20 à 25 mm.

Organisme de certification : AFNOR CERTIFICATION

11, avenue Francis de Pressensé
93571 Saint-Denis La Plaine Cedex - France

Produit réservé à un usage strictement professionnel.
«Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.»



SIKA S.A. : Direction Activité Construction
84, rue Edouard Vaillant - BP 104
9 3 3 5 1 L E B O U R G E T C e d e x
Tél.: 01 49 92 80 00 - Fax : 01 49 92 80 21

«Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale

contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»