



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ DE KASDI MERBAH OUARGLA



FACULTE DES SCIENCES APPLIQUÉES
Département de Génie Civil et Hydraulique

Laboratoire Exploitation et Valorisation
des Ressources Naturelle en Zones Aride

N° d'ordre :

N° de série :

Thèse

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences

Filière : Génie Civil

Option : Constructions Civiles

Présentée par :

MOKHTARI ABDESSAMED

Thème

***CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA DURABILITÉ DES MORTIERS
RENFORCÉS PAR DES FIBRES DE PALMIER DATTIER***

Soutenue Publiquement le : 18 /06 /2017

Devant le Jury Composé de :

BENTEBBA Mohamed Tahar	Professeur	Université de Ouargla	Président
KRIKER Abdelouahed	Professeur	Université de Ouargla	Rapporteur
KHENFER Mohamed Mouldi	Professeur	Université de Laghouat	Co-rapporteur Examineur
BEDERINA Madani	Professeur	Université de Laghouat	Examineur

DEDICACE

Je dédie cette thèse de doctorat à:

Ma mère pour tous ses sacrifices, que dieu la protège

Mon père pour ses encouragements et ses orientations, que Dieu le guérisse et le protège

Ma femme, pour sa passion et sa patience illimitées, qui a Su m'épauler jusqu'à l'aboutissement, que Dieu la récompense

Mes enfants Ishak, Isra , Anfel , Anes et Ikkal que ce travail l'inspirent et l'incitent à mieux faire

ma sœur, Mes frères.

Tous mes proches et mes amis fidèles

Mon Directeur et co-directeur de thèse

Tous mes enseignants et instituteurs

Que ces chères personnes trouvent dans ce travail le fruit de leurs efforts et leurs sacrifices.

Abdessamed

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans laboratoire Exploitation et Valorisation des Ressources Naturelles en Zones Arides (EVRNZA) de l'université de Ouargla .

Je remercie tout d'abord mon directeur de thèse Pr. Abdelouahed Kriker de m'avoir fait confiance pour mener à bien ce projet de recherche, pour son soutien, les conseils qu'il m'a donné au cours de la réalisation de ce travail et pour sa patience.

J'exprime également ma reconnaissance au Professeur M.M. KHENFER à l'université de LAGHOUAT, Co-directeur de thèse, pour sa contribution et son aide si précieuse quant à l'élaboration de ce travail.

Je remercie le Pr BETEBBA M.T d'avoir accepté de présider cette thèse, ainsi que Pr BEDERINA Madani d'avoir examiné cette thèse.

Que les responsables et le personnel travaillant dans ce laboratoire (EVRNZA), ainsi que toutes les personnes qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail trouvent ici ma gratitude.

Mes remerciements vont aussi à tous mes mères et enseignants qui ont contribué à ma formation, à tous mes amis et collègues de travail qui ont grandement contribué à faire de mon passage au doctorat une belle expérience.

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

ملخص

إن تعزيز مواد البناء وخاصة الملاط والخرسانة بالألياف من أهم التقنيات الواسعة الإنتشار وهذا نظرا لتوفرها وقدرتها على تحسين بعض الخصائص الميكانيكية وخاصة مقاومة الانحناء و الحد من انتشار الشقوق. تتعلق الخصائص الميكانيكية لخرسانة الألياف بعدة عوامل منها طرق التحضير والأبعاد الهندسية للألياف وتركيزها وتباعدها وإتجاه توزيعها داخل الخرسانة أو الملاط. في هذه الرسالة قمنا بدراسة ديمومة ملاط ألياف النخيل المثمر والمتوفر بكثرة في منطقة ورقلة (جنوب الجزائر) وذلك بدراسة:

- ديمومة الألياف وذلك بحفظها في أوساط مختلفة من القالبية حيث التركيز 20 , 40 و 60 % من مادة البوزولان الطبيعي.
- ديمومة ملاط الألياف وذلك بمعالجة القالبية بإضافة:
- مسحوق رمل الكتبان
- مادة البوزولان الطبيعي.
- دراسة تأثير وسط الحفظ على ديمومة ملاط الألياف.

وخلصنا في هذه الدراسة إلى أن إضافة ألياف النخيل المثمر إلى الخرسانة أو الملاط تحسن من خصائص الانحناء والتشد بينما إضافتها يؤثر سلبا على مقاومة الضغط. وفيما يخص الديمومة لوحظ أن هناك تحسن بالنسبة للقالبية المعالجة بمادة البوزولان الطبيعي و مسحوق رمل الكتبان وأن هذه العملية تحتاج إلى المزيد من الدراسة والقيام بمعالجات أخرى تشمل الألياف والقالبية.

الكلمات المفتاحية:

الملاط, الإسمنت, رمل الكتبان, ألياف النخيل المثمر, مقاومة الضغط, مقاومة الإنحناء.

Résumé

Le renforcement des matériaux de construction, particulièrement, les mortiers et les bétons, par des fibres est une technique de plus en plus utilisée, dans le but d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques, notamment leurs résistances à la flexion et à la fissuration.

Les propriétés mécaniques du béton de fibres dépendent de plusieurs facteurs qui sont les conditions de mise en œuvre, le dosage, l'espacement, l'orientation, la longueur et la distribution des fibres dans le béton ou le mortier.

Dans notre travail nous avons étudié la durabilité de mortier de fibres de palmier dattier (lif) et qui se trouve en abondance dans la région d'Ouargla (sud Algérie). Avec l'étude de :

- La durabilité des fibres par leur conservation dans des différentes matrices avec un ajout de 20 ,40 et 60 % de pouzzolane naturelle.

- La durabilité des mortiers de fibres avec traitement de la matrice par l'addition de:

- pouzzolane naturelle.
- Sable de dunes broyé.

- L'influence de type de cure sur la durabilité de mortier de fibres.

Nous avons montré que le renforcement des mortiers et bétons par des fibres de palmier dattier améliore leur propriété de flexion quoique la résistance à la compression diminue. Aussi, la durabilité est améliorée pour les matrices traitées par la pouzzolane naturelle et sable de dunes broyé. Cependant, d'autre traitement de fibres et de matrices pour l'amélioration de la durabilité sont recommandées.

Mot clés :

Mortier ; ciment ; sable de dunes ; fibres de palmier dattier ; résistance à la compression ; résistance à la flexion.

Abstract

The reinforcement of building materials, particularly, mortars and concretes, by fibers is a technique increasingly used, with an aim of improving their mechanical characteristics, in particular their flexural strength and cracking.

The mechanical characteristics of concrete fibers depend on several factors such as experimental conditions, fraction, spacing, length, orientation and distribution of fibers in concrete or mortar.

In this thesis we have analyzed and studied the durability of mortar reinforced by date palm fiber. This last materials exists in abundance in the Ouargla area (south of Algeria). With study of:

- The durability of fibers by their conservation in various matrixes with an addition of 20, 40 and 60 % of natural pozzolane.

- The durability of the fiber mortars with treatment of the matrix by the addition of:

- Natural pozzolan.

- Crashed dune sand.

We showed that the reinforcement of mortars and concretes by fibers of date palm improves their flexural property though the compressive strength decreases. Also, durability is improved for matrix treated by natural pozzolane or crashed dune sand. However, another treatment of fibers and matrix are recommended for improved the durability.

Keywords:

Mortar; cement; dune sand; date palm fibers; compressive strength; flexural strength..

SOMMAIRE

Titre	Page
Introduction Générale.....	1
CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	
Partie A : Généralités sur les fibres	
I-1 Types de fibres.....	4
A. Fibres naturelles.....	4
B. Fibres synthétiques.....	6
C. Fibres artificielles.....	6
II. Fibres végétales.....	6
II.1. Définition de la fibre végétale.....	7
II.2. Classification des fibres végétales.....	7
II.3. Morphologie de la fibre végétale.....	7
II. 4. Structure de la fibre végétale.....	9
II. .5. Composition chimique des fibres végétales.....	10
II. 6. Propriétés mécaniques de la fibre végétale.....	16
III. Le palmier dattier.....	18
IV. Les fibres de palmier dattier	20
V. Conclusion.....	22
Partie B : Matériaux composites et le matrice cimentaire	
I. Les matériaux composites.....	23
I.1. Définition d'un matériau composite.....	23
I.2. Matrice minérale et fibres végétales.....	26
I.3. Compatibilité des fibres végétales avec le ciment.....	26
I.4. Définition d'un ciment.....	27
I.4.1. Ciment portland.....	28
I.5. Hydratation du ciment portland.....	28
I.6. Propriétés mécaniques de ciment.....	31
I.7. Conclusion	31

Chapitre II : Comportement et Durabilité de Béton de Fibres

II.1. Comportement.....	32
II.1.1 Introduction	32
II.1.2. Béton de Fibres.....	33
II.1.2.1. Comportement Mécanique des Bétons de Fibres.....	33
II.1.2.2. Comportement en traction des fibres.....	34
II.1.2.3. Comportement de La Matrice.....	34
II.1.2.4. propriétés des composites à matrice cimentaire renforcés par les fibres végétales.....	35
II.1.3. Comportement du Matériau Composite.....	37
II.1.3.1. Comportement en compression.....	37
II.1.3.2. Comportement en Traction.....	39
II.1.3.3. Comportement en Flexion.....	39
II.1.4. Microstructure de Béton de Fibres.....	40
II.2. Durabilité.....	41
II.2.1. Introduction.....	41
II.2.2. Durabilité des matériaux.....	41
II.2.3. Principaux facteurs influençant sur la durabilité du béton.....	42
II.2.4. Paramètres de durabilité des bétons.....	43
II.2.4.1. Introduction.....	43
II.2.4.2. Les facteurs climatiques et environnementaux et leurs effets sur les bétons	43
II.2.4.3. La Porosité et la Fissuration facteurs de durabilité.....	45
II.2.4.3.1 La fissuration.....	45
II.2.4.3.2 la porosité.....	46
II.2.5. Durabilité des fibres végétales.....	46
II.2.5.1. Durabilité des bétons de fibres.....	48
II.2.5.2 Mécanisme de Dégradation.....	51
II.2.5.3. Durabilité des Bétons de fibres et Mortier de fibres de Palmier Dattier en Climat Chaud et Sec.....	51
II.2.5.3.1. Introduction.....	51
II.2.5.3.2. Durabilité des Bétons de Fibres de Palmier.....	51
II.2.5.3.3. Effet de régime de cure sur la résistance des mortiers.....	52
II.2.5.3.4. Influence de régime de cure sur la durabilité de béton de fibres en climat	

chaud et sec.....	52
II.2.5.3.5. durabilité des fibres de palmier dattier dans les milieux alcalins.....	53
II.2.6. Amélioration de la Durabilité.....	54
II.2.6.1. Traitement de la Fibre.....	54
II.2.6.2. Traitement de la Matrice	54
II.2.7. Etat actuel de l'utilisation de la pouzzolane en Algérie.....	55
II.2.7.1. Intérêts de l'utilisation de la Pouzzolane.....	55
II.2.8. Conclusion.....	57

chapitre III : Caractérisation des Matériaux Utilisés

III.1. Matériaux Utilisés	58
III.1.1. Ciment.....	58
III.1.2. Sable.....	61
III.1.3. Sable de dunes broyé.....	66
III.1.4. Eau de gâchage	67
III.1.5. Les adjuvants	67
III.1.6. Les Fibres.....	68
III.1.7. La Pouzzolane.....	71
III.2. Conclusion	73

Chapitre IV : Etude Expérimentale

Introduction.....	74
IV.1. Propriétés Mécaniques des Fibres de Palmier Dattier.....	74
IV.1.1. Résistance à la Traction des Fibres de Palmier Dattier.....	74
IV.1.2. Résultats d'essai de Traction sur Fibres à l'état Naturel	75
IV.II. Formulation de mortier normal	76
IV.II.1. -Essai au maniabilimètre B	76
IV.II.2. Composition du Mortier de Fibres	77
IV.3. Malaxage du Mortier de Fibres	81
IV.3.1. Préparation et Conservation des Eprouvettes de Mortier de Fibre de Palmier Dattier	81
III.4. Résistance à La Flexion des Mortiers de Fibres de Palmier Dattier.....	82
IV.4.1. L'effet de l'environnement et du type de cure sur la résistance du mortier de fibres.....	83
IV.4.2. Traitement de la matrice cimentaire par l'incorporation du sable de dunes	

broyé.....	85
IV.5. Etude de la durabilité de mortier de fibres.....	86
IV.5.1. Résultats de Durabilité sur des Fibres Noyées dans différentes Matrices Pouzzolaniques	86
IV.5.2. Traitement de la matrice cimentaire par l'incorporation de pouzzolane Naturel	88
IV.5.2.1 Résistance à La Flexion des Mortiers de Fibres par l' ajout de Pouzzolane Naturelle.....	88
IV.5.2.1.1 Ajout de 20 % de pouzzolane naturelle.....	88
IV.5.2.1.2 Ajout de 40 % de pouzzolane naturelle	89
III.5.2.1.3 Ajout de 60 % de pouzzolane naturelle.....	90
IV.6 Résistance à la compression.....	91
IV.6.1. Résistance à la compression des mortiers en fonction du pourcentage des fibres.....	92
IV.6.2. Résistance à la compression des mortiers de sable de dunes broyé.....	93
IV.6.3. Résistance à la compression de mortiers de fibres de sable de dunes broyé	94
IV.6.4. Résistance à la Compression des Mortiers de Fibres dans la Matrice Cimentaire à Base de CPJ Plus ajout de Pouzzolane naturelle	95
IV.6.4.1. Ajout de 20 %, 40 % et 60 % de pouzzolane naturelle.....	95
IV.7. La masse volumique du mortier de fibres.....	97
IV.8.Essais ultrasonique	98
a) - Mesures en transparence (transmission directe)	98
b)- Mesures en surface (transmission indirecte).....	99
c)- Mesures en transparence par rayonnement (transmission semi-directe).....	99
IV.9. conclusion	102
IV.9.Conclusions générales et recommandations	104
Références Bibliographique	107
Annexe	

Liste des Figures

Figure I.1 : Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine.....	4
Fig. I-2. : Variation du diamètre le long de la fibre de lin.....	7
Figure I.3: Photographie en MEB d'une fibre de coton	8
Fig. I.4 : Structure du bois (observations multi échelles)	9
Fig. I.5 : Modèle de description de la structure d'une fibre végétale	10
Fig. I. 6 : Représentation schématique d'une fibre de bois	11
Fig. I. 7: Représentation de la chaîne de cellulose	11
Fig. I. 8: Représentation schématique de la hiérarchie de structure dans un fibre cellulosique.....	12
Fig. I.9 : Représentation schématique de l'alternance des zones cristallines et désorganisées le long d'une microfibrille.....	13
Fig.I.10 : Principaux glucides constituant les hémicelluloses.....	14
Fig.I.11 : structure de la pectine.....	14
Fig. I. 12 : Motifs élémentaires de la lignine	15
Fig.I.13 : Exemple de défaut structural sur une fibre de lin.....	17
Fig. I.14 : Photo du lif autour du tronc du palmier dattier.....	21
Fig. I.15: Observation sous MEB des fibres de palmier dattier mâle de surface : (a) coupe transversale typique ; (b) coupe longitudinale typique ; (c) vue longitudinale de la fibre.....	23
Figure .I.16 : Matériau Composite.....	27
Fig. I.17 : Diagramme de phase ternaire CaO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃ , et repérage des compositions de Ciment Portland et de ciment alumineux	28
Fig. I.18: vue de clinker par microscope optique.....	30
Fig. I.19 : Le processus d'hydratation de la pâte du ciment : (a) Mélange initial ; (b) 7jours ; (c) 28 jours ; (d) 90 jours	30
Figure II.1 : courbe contrainte déformation de quelques fibres végétales	34
Figure II.2 : comportement du béton sous sollicitations uni-axiales	35
Fig. II.3: Courbes du comportement typique d'un échantillon de ciment pur (1) et d'un composite ciment/fibres de chanvre (2) en flexion 3 points.....	36
Figure II.4 : Résistance à la compression de quelques bétons de fibres végétales en fonction de la durée	37
Figure II.5: Relation contrainte déformation des bétons de fibres en fonction de l'angle d'orientation.....	38

Figure. II.6 : flèche-effort des BF en flexion quatre points	39
Figure II.7 : Les facteurs influençant la durabilité des bétons et des ouvrages.....	42
Photo II.1 : Fissuration du béton.....	45
Figure II.8 : Chute de résistance à la traction de quelques fibres végétales en fonction du temps d'immersion dans une solution de chaux de pH 11.5	47
Figure II.9 : Charge-flèche des mortiers de fibres de sisal et noix de coco conservées dans l'eau en fonction de l'âge.....	49
Figure II.10: Effet de la cure cyclique (mouillage-séchage) sur la charge-flèche des mortiers de fibres de sisal et noix de coco	50
Figure III.1 : Analyse granulométrique de sable de construction et sable de dunes.....	63
Figure III.2 : Vue microscopique longitudinale typique des FSPD au MEB	69
Figure III.3 : Coupe transversale des fibres de Dokar au MEB	69
Figure III.4 : Coupe longitudinale typique des fibres de Dokar au MEB.....	69
Figure IV-1 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre B.....	76
Figure IV-2 : Variation de la maniabilité en fonction du pourcentage de SP.....	78
Figure IV.3: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.....	82
Figure IV-4 : Résistance à la flexion en fonction du pourcentage de super plastifiant et de fibres dans le mortier.....	83
Figure IV-5 : Influence du milieu de conservation sur la résistance à la flexion du mortier de fibres.....	84
Figure IV-6 : Résistance à la flexion de mortier à base de CPJ et SDB.....	85
Figure IV-7 : Résistance à la flexion de mortier de fibres de sable de dunes broyé.....	86
Figure IV-8 : Contrainte de rupture des fibres en fonction d'âge Noyées dans différentes Matrices Pouzzolaniques.....	87
Figure IV-9 : Résistance à la flexion en fonction d'âge dans la matrice de CPJ+20%Z.	88
Figure IV-10 : Résistance à la flexion en fonction d'âge dans la matrice de CPJ+40%Z.....	89

Figure IV-11 : Résistance à la flexion en fonction d'âge dans la matrice de CPJ+60%Z.....	90
Figure IV.12: Dispositif de rupture en compression.....	92
Figure IV-13 : Résistance à la compression en fonction d'âge dans la matrice de CPJ..	92
Figure IV.14 : Résistance à la compression de mortier à base de CPJ+SDB en fonction d'âge.....	93
Figure IV-15 : Résistance à la compression de mortier de fibres dans la matrice de CPJ+SDB.....	94
Figure IV-16 : Résistance à la compression de mortier dans la matrice à base de CPJ+ 20% Z	95
Figure IV-17 : Résistance à la compression dans la matrice à base de CPJ+ 40% Z	96
Figure IV-18 : Résistance à la compression de mortier de fibres dans la matrice à base de CPJ+ 60% Z	96
Figure IV.19: Evolution de la masse volumique du mortier de fibres en fonction de l'âge dans différents milieux de conservation.....	97
Figure IV.20: Mesure direct de la vitesse de propagation ultrasonique.....	98
Figure IV.21: Mesure indirect de la vitesse de propagation ultrasonique.....	99
Figure IV.22: Mesures en transparence par rayonnement.....	100
Figure IV.23: Evolution de la vitesse de propagation en fonction d'âge et des milieux de conservations.....	101

Liste des Tableaux

Tableau I.1: Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales.....	8
Le tableau I.2 Composition chimique de quelques fibres	16
Le tableau I.3 : Propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec des fibres de renforcement conventionnelles	17
Tableau 1.4 : Exemples des matériaux composites.....	24
Tableau. I.5: Les différentes phases de clinker.....	29
Tableau III.1 : Constituants Principaux et Secondaires des Ciments (% en masse)	58
Tableau III.2 : pourcentage des composants chimiques essentiels du ciment.	59
Tableau III.3: Composition minéralogique du clinker	60
Tableau III.4 : Les principales propriétés physiques	60
Tableau III.5 : Résultats d'analyse granulométrique du sable de construction (SC)	61
Tableau III.6 : Caractéristiques du sable de construction utilisé.....	62
Tableau III.7: Analyse granulométrique du sable de dunes (SD).....	62
Tableau III.8 : Résultats de masses volumiques, compacité, porosité.....	64
Tableau III.9 : Nature et qualité du sable	65
Tableau III.10: Résultats d'essai de l'équivalent de sable.....	66
Tableau III.11 : Composition chimique de l'eau en mg/l.....	67
Tableau III.12 : Les caractéristiques du super-plastifiant utilise.....	68
Tableau III.13 : Les caractéristiques physiques et mécaniques des fibres utilisées...	70
Tableau III.14 : Analyse minéralogique de la poudre des fibres de Dokar calcinées à 400 °C.....	70
Tableau III.15 : les principaux constituants organiques des fibres de Dokar.....	71
Tableau III.16: Composition chimique de la pouzzolane utilisée.....	72
Tableau III.17 : Analyse minéralogique de la pouzzolane naturelle.....	72
Tableau III.18 : Les propriétés physiques de la pouzzolane.....	72
Tableau IV-1 : Résultats d'essai de traction simple sur échantillons de fibres de 100 mm de longueur	75
Tableau IV-2 : Classe de consistance selon la durée d'écoulement	77
Tableau IV-3 : les résultats de l'essai de maniabilimètre.....	78
Tableau IV-4 : les différentes compositions de mortier et de mortier de fibres.....	79
Tableau IV-5 : variation de la vitesse de propagation des ondes ultrason en fonction du temps et pour différents milieux hygrométrique.....	100

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Un matériau composite est constitué, dans le cas général, d'une ou de plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. L'utilisation de ce dernier remonte à plusieurs millénaires, où l'exemple le plus frappant est donné par les artisans de l'Égypte ancienne qui, pour augmenter les propriétés mécaniques des briques, n'hésitent pas à mélanger la paille courte à l'argile fraîche.

Le béton et le mortier sont les matériaux les plus utilisés dans la construction, mais ils résistent mal à la traction et à la fissuration. Les conditions d'environnement chaud et sec, tel que ceux qui sévissent dans les régions sahariennes de notre pays, dessèchent ces matériaux hydrauliques ce qui induit des retraits importants et par conséquent des fissures dans les structures. En effet, les constructions en bétons ou mortier dans ces régions sont très fragiles. Le renforcement des bétons par des fibres peut offrir des solutions techniques pour l'amélioration des performances mécaniques.

Devant l'évolution des matériaux composites, le béton et le mortier ne font pas l'exception, les chercheurs et les producteurs de fibres ont pensé à l'incorporation de ces dernières comme matériau de renfort dans les matrices cimentaires. Depuis lors, l'utilisation des fibres dans le béton est devenue de plus en plus une pratique courante. Des applications sont développées grâce à la capacité prouvée par l'expérience de ces nouveaux composites pour limiter et pour contrôler la fissuration sous sollicitations mécaniques et améliorer la résistance à la flexion et au choc.

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

Le renforcement des matériaux cimentaires par les fibres végétales est relativement nouveau par rapport à celui des fibres d'amiante ou d'acier. La caractérisation de ce nouveau matériau composite nécessite alors, la multiplication des

recherches et des essais, ainsi que le développement de nouveaux procédés d'expérimentation.

L'Algérie est parmi les pays, qui disposent d'extraordinaires ressources en fibres végétales (de palmier, Alfa Abaca, Chanvre, Cotton ...). Malheureusement, leur valorisation dans les domaines pratiques, entre autres, comme matériaux de construction est encore peu exploitée.

L'objectif de cette thèse consiste à apporter notre contribution à la valorisation des ressources locales en l'occurrence les fibres végétales de palmier dattier à faible coût et provenant d'une source renouvelable pour l'intégrer d'une façon rationnelle dans le domaine de la construction.

Actuellement le plus grand problème qui limite l'utilisation des fibres végétales dans les matrices cimentaires est leur faible durabilité aux alcalis cimentaires.

Le présent travail s'intéresse, donc, à l'étude de la durabilité des matériaux cimentaires renforcés par des fibres végétales de palmier dattier avec l'étude de l'influence de l'ajout de pouzzolane naturelle à la matrice cimentaire ou les débris de briques cuites sur la durabilité. Ainsi que la durabilité des fibres de palmier dattier, en les conservant dans une matrice cimentaire à différents pourcentages de pouzzolane naturelle.

Cette thèse est scindée en quatre chapitres, dont le premier chapitre est divisé en deux parties qui sont consacrées à la fois aux caractéristiques physiques et mécaniques des fibres et aux propriétés des matériaux composites et la matrice cimentaire.

Dans le deuxième chapitre nous nous sommes intéressés au comportement et à la durabilité des bétons de fibres. Quant au troisième chapitre, il est consacré à l'étude des caractéristiques physico-chimiques des constituants élémentaires utilisés, à

savoir le ciment, le sable, le sable de dunes, l'eau de gâchage, l'adjuvant, les fibres de palmier dattier et la pouzzolane.

Dans le quatrième chapitre, nous avons essayé d'étudier la durabilité des fibres par leurs incorporations dans des matrices cimentaires avec différents pourcentages de pouzzolane naturelle. Nous avons réalisé aussi une étude pour l'amélioration de la durabilité du mortier de fibres végétales du palmier dattier par un traitement de la matrice en ajoutant de la pouzzolane naturelle et du sable de dunes broyé à différents pourcentages, ainsi que l'étude de l'influence de type de cure sur les caractéristiques mécaniques de mortier de fibres.

Enfin, en se basant sur les résultats obtenus nous présentons une conclusion générale sur les mortiers de fibres végétales de palmier dattier suivie de recommandations.

Chapitre I :

Partie A:

Généralités Sur Les Fibres

partie B:

materiaux composites

et

matrice cimentaire

Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique et se compose de deux parties :

La partie A : Généralités sur les fibres.

La partie B : Les matériaux composites et la matrice cimentaire.

Partie A : Généralités sur les fibres

I-Définition des fibres :

On peut dire que sous l'appellation " fibres" se cache une grande famille de matériaux qui a été introduite dans le commerce comme de nouvelles applications. Elles sont classées selon leur origine (naturelles, synthétiques et artificielles), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc), leur dimension (macro ou micro-fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour une application donnée, il faut tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et le mode de performance du composite. (Nenonene A. Y.,2009).

I-1 Types de fibres

A. Fibres naturelles

On peut subdiviser les fibres naturelles en trois grands groupes selon leur origine (figure 1.1) (Baley .C, 2004).

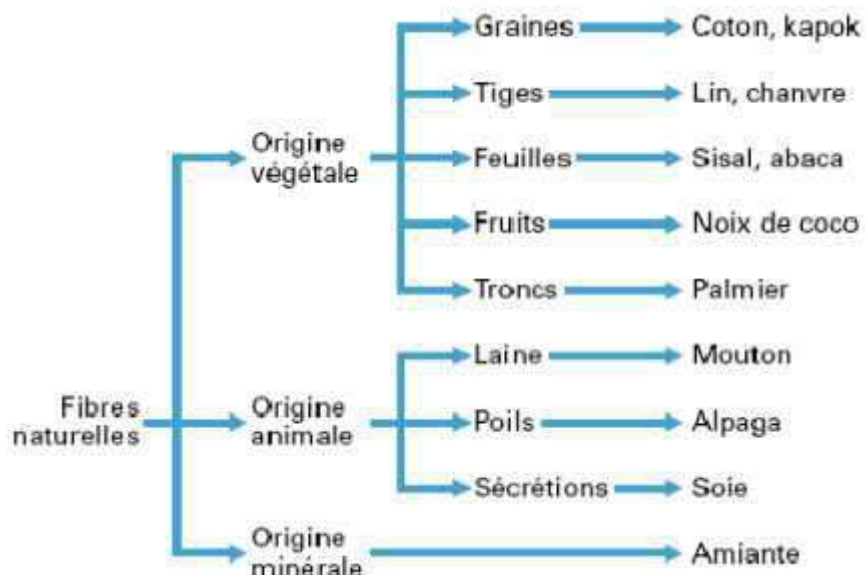


Figure I.1 : Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine (Baley.C, 2004)

1. Fibres végétales :

Les fibres végétales comprennent :

- Des fibres provenant des poils séminaux de graines (coton, kapok),
- Les fibres libériennes extraites de tiges de plantes (lin, chanvre, jute, ortie),
- Les fibres extraites de feuilles (sisal), de troncs (palmier), d'enveloppes de fruits (noix de caco)

L'utilisation de fibres naturelles, et en particulier de fibres végétales comme renfort de matériaux composites, présente deux principaux avantages. Tout d'abord, ces fibres sont largement disponibles à faible coût et leur utilisation en construction constitue de nouveaux débouchés pour les matières agricoles.

D'autre part, la valorisation des fibres végétales permet la réduction des impacts environnementaux par rapport à des composites conventionnels puisque ce sont des matières premières renouvelables, biodégradables, neutres vis-à-vis des émissions de CO₂ et demandant peu d'énergie pour être produites.

2. Fibres animales :

La fibre la plus importante et la plus utilisée est la fibre de laine connue pour ses qualités de bon isolant thermique, son pouvoir absorbant élevé (16-18%) et son élasticité importante (45%) (Feughelman, 1997) Les fibres animales sont classées selon leur provenance, on note essentiellement :

- Poils : la laine (obtenue par la tonte de moutons), alpaga, angora, chameau, cachemire, ...
- Sécrétions : soie (*Bombyx Mori*), soie sauvage, fils d'araignée ;

3. Fibres minérales :

L'amiante est la seule fibre minérale naturelle. Elle a attiré l'attention des industriels pour sa résistance à la chaleur, au feu, aux agressions électriques et chimiques et pour son pouvoir absorbant. Elle a été utilisée dans diverses installations industrielles et même en construction avant de l'interdire progressivement à cause des risques cancérigènes qu'elle présente (Service,2004).

B. Fibres synthétiques

Les fibres synthétiques sont fabriquées avec des polymères de synthèse obtenus à partir de substances ou de composés fournis par l'industrie pétrochimique. Elles ont fait leurs apparitions au début de 20ème siècle, après la réussite de la fibre de Viscose, depuis lors, un grand nombre de fibres synthétiques ont été mises au point ; elles possèdent chacune des propriétés qui répondent à un type particulier d'application. Ces fibres, tout comme les fibres artificielles, sont obtenues par filage. Elles suscitent l'intérêt de beaucoup d'industriels pour leur faible coût, leur disponibilité et leur indépendance des saisons et surtout la possibilité de les adapter et modifier leurs propriétés, par contre, elles sont très critiquées quant à leur comportement vis-à-vis de l'environnement que ce soit pendant le processus de fabrication ou après leur utilisation et les difficultés de leur recyclage.

Les principales catégories de fibres synthétiques commercialisées sont :

- Les polyamides (Nylons) ;
- Les polyesters ;
- Les dérivés polyvinyliques ;
- Les polyoléfinés : les polyéthylènes et les polypropylènes : sont d'une importance croissante et leur production s'élève maintenant à environ 8% de toutes les fibres synthétiques (Quinn, 2002).

C. Fibres artificielles :

Ce type de fibres est le plus utilisé dans le domaine industriel en général et dans le domaine de génie civil en particulier. Il regroupe les fibres de verre, les fibres de carbone, les fibres d'acier et d'autres. Elles sont aujourd'hui les plus répandues dans l'industrie de la construction.

II. Fibres végétales**II.1. Définition de la fibre végétale**

Puisque notre étude porte sur les fibres végétales, nous allons détailler de plus ces fibres. Nous rappelons que les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. En proportion relativement faible d'extractibles non azoté, de matière protéique brute, de lipide et de matières minérales. Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante (Nenonene A.Y. 2009).

II.2. Classification des fibres végétales

Il existe plusieurs critères de différenciation des fibres :

- Suivant l'organe de la plante dont elles sont issues, les fibres végétales peuvent être classées en fibres de tiges (Kénafe, jute, lin, ramie), et de feuilles (Sisal, abace, paille de graminée) (Nenonene A. Y. 2009).
- Suivant leur teneur en holocellulose (cellulose et hémicellulose) et en lignine, on peut distinguer les fibres ligneuses (dures et rigide provenant de matériels ligneux tels que le bois d'œuvre, les résidus de l'industrie du bois et les fibres non ligneuses (douces, souples, issues de végétaux non ligneux souvent annuels relativement moins riches en lignine tels que le kénafe, le chanvre, le sisal, le jute et le lin) (Michaud.F, 2003).
- Suivant leur longueur, les fibres végétales peuvent être groupées en deux catégories :

Fibres longues, dites libérienne, provenant des tiges et d'écorce de tiges de plantes annuelles. Elles sont douces, tandis que les fibres longues issues de feuilles ou de troncs d'arbre sont plus dures et plus rigides à cause de leur richesse en lignine. Et fibres courtes ou étoupes qui sont associées aux fibres longues (Nenonene A. Y. 2009).

II.3. Morphologie de la fibre végétale

Sur le plan morphologique, la fibre végétale présente une variabilité très importante en fonction de son origine. En effet, les dimensions des fibres végétales dépendent de l'état de maturité et aussi des conditions environnementales de croissance de la plante. La variabilité du diamètre peut être très importante le long de la même fibre végétale (Fig. I.2) (Charl.K,2006). La fibre végétale se caractérise aussi par la variabilité de l'épaisseur de sa paroi cellulaire qui découle de celle de la porosité des fibrilles (Ververis.C. 2004).

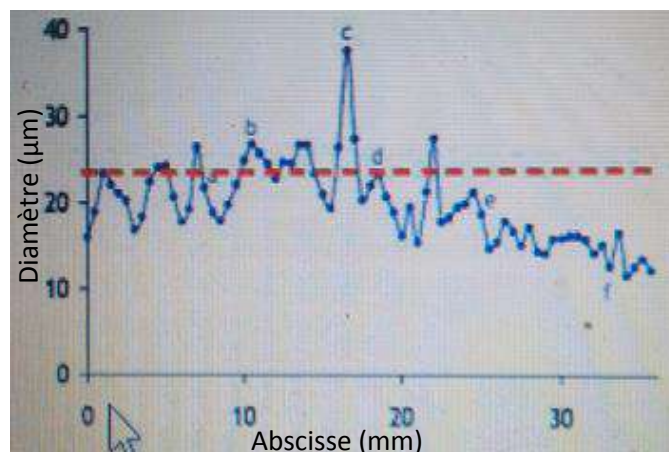


Fig. I-2. Variation du diamètre le long de la fibre de Lin (Charl.K,2006).

Tableau I.1: Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales (Charl.K,2006).

Fibres	Longueur de la fibre (mm)	Diamètre de la fibre (μm)	Angle micro ($^\circ$)
Cotton	35	10-45	-
Lin	4-77	5-76	10
Chanvre	5-55	10-51	6.2
Kénaf	2.5-4.5	14-33	-
Jute	2.5	5-25	8
Sisal	900	8-50	20
Rami	900-1200	20-80	7.5
Noix de coco	03-1	12-24	45

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

La Fig. I.3 présente à titre d'exemple la structure torsadée d'une fibre de coton.

D'autres fibres ont des morphologies, encore plus tourmentées. La géométrie des fibres végétales est donc un problème important et difficilement surmontable pour ce qui concerne la micromécanique des composites renforcée par de telles fibres (Nardin.M., 2006).

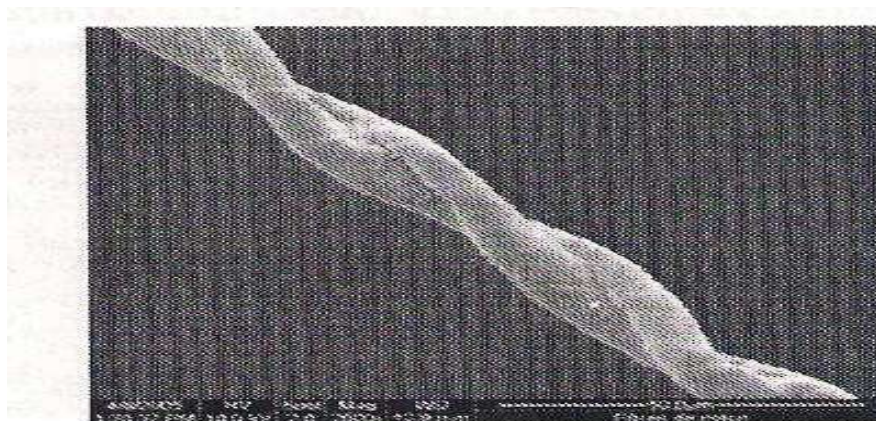


Figure I.3: Photographies-en MEB d'une fibre de coton (Nardin.M., 2006)

II. 4. Structure de la fibre végétale

La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de microfibrille cellulosiques en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d'une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaison hydrogène et covalentes à la lignine (Bledzki.A.K,1999).

La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et disposée en couche superposée dans le sens radial. Ces différentes couches qui forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l'espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches de micro-fibrilles (S1, S2, S3) (Fig. I. 4).

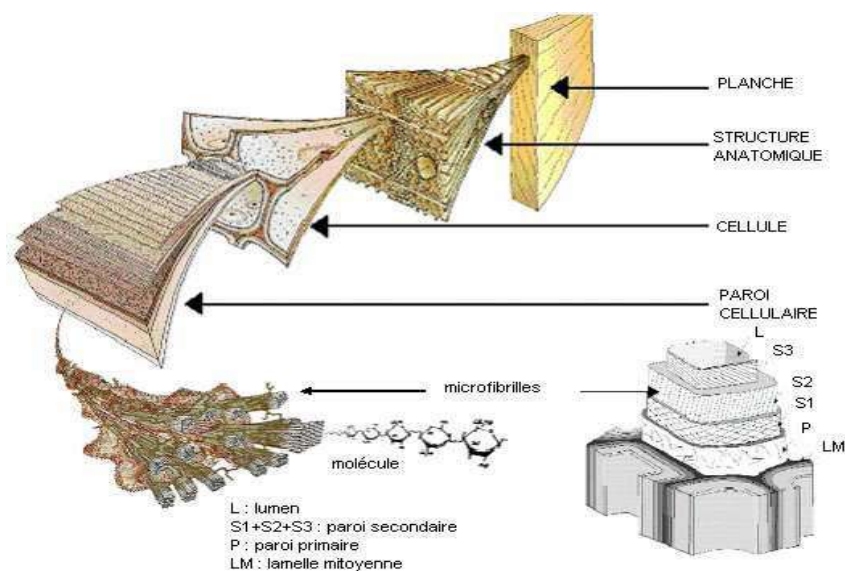


Fig. 1.4 : Structure du bois (observations multi échelles) (Michaud.F.,2003).

Les microfibrilles décrivent par rapport à l'axe de la fibre, un angle microfibrillaire (MAF) dont la valeur varie d'une espèce à l'autre. L'orientation des microfibrilles par rapport à l'axe de la cellule joue un grand rôle dans les propriétés mécaniques des parois des fibres, plus que l'angle des microfibrilles augmente, le module de Young (une mesure de la rigidité) décroît, tandis que l'extensibilité des parois augmente (Laurans.F,2006).

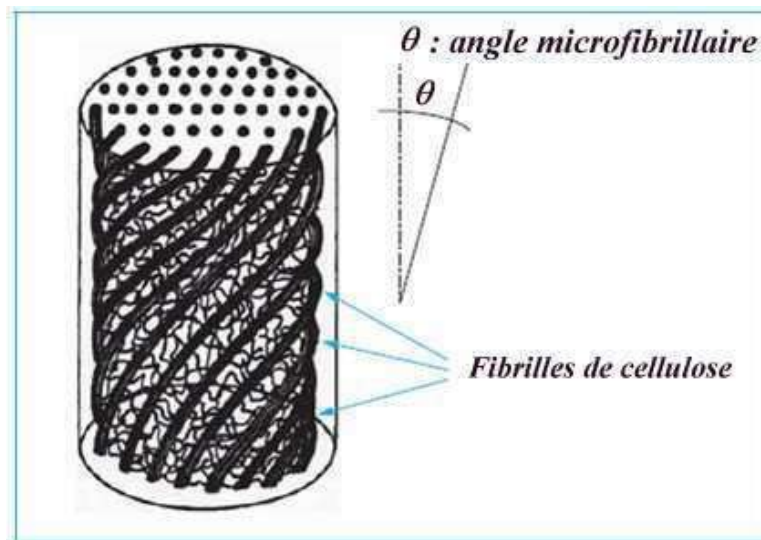


Fig. I.5 : Modèle de description de la structure d'une fibre végétale (Bledzki.A.K.,1999).

II. .5. Composition chimique des fibres végétales

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

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

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

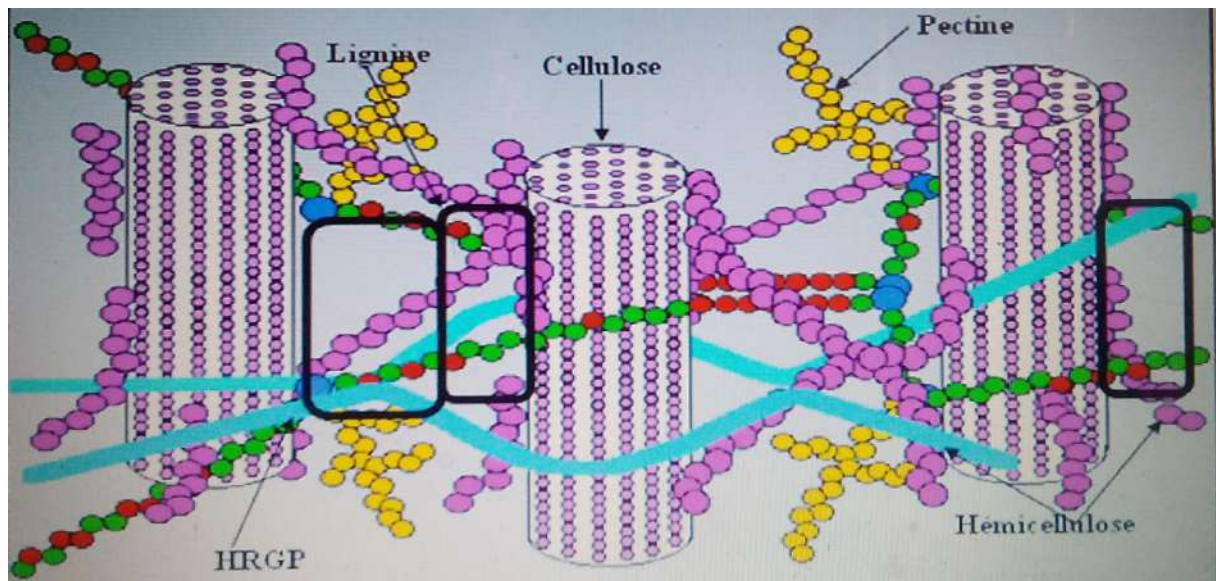


Fig. I. 6 : Représentation schématique d'une fibre de bois (Couhert.C , 2007).

II. 5. 1. Cellulose

La cellulose est le constituant principal de la masse végétale. Ce polymère linéaire de glucose présente est à l'état presque pur (>90%) dans la fibre de coton. Il est aussi, avec de la lignine, l'un des constituant essentielle du bois (50%) (Sedan.D, 2007).

Selon (Willtatter et Zechmeister,1913) la formule brute exacte de cette macromolécule est ($C_6H_{10}O_5$).

Elle est composée des unités de D-anhydrocopyranos reliées entre elle par des liaisons β 1-4. L'unité répétitive est le Cellobiose (deux glucoses réunis). Ces unités élémentaires s'associent par paquet pour former les microfibrilles (Berlioze.S,2008).

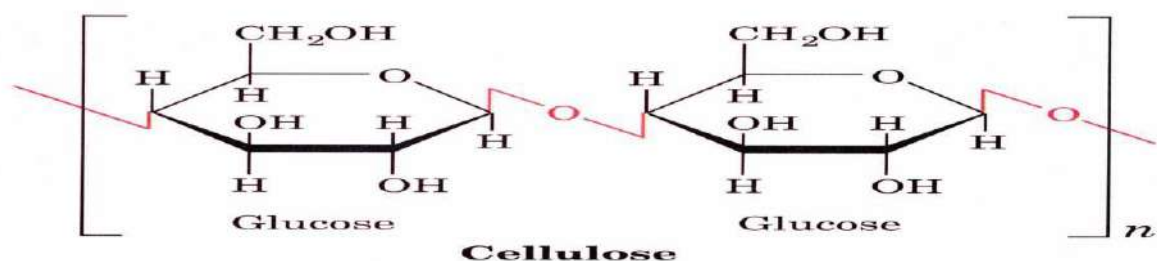


Fig. I. 7: Représentation de la chaîne de cellulose (Joly.N,2003).

n : degré de polymérisation.

Le nombre de maillons D-glucopyranose (n), appelé degré de polymérisation (DP) n'est pas connu dans la cellulose native. De plus, il est toujours exprimé comme une moyenne puisque dans la plupart des échantillons, il y a une large distribution de masse moléculaire. Il diffère énormément selon l'origine de la cellulose, il est d'environ 26500 dans l'algue valonia 9000 dans le chanvre et dans le lin, et de l'ordre de 8000 pour l'épicéa (Satge.C,2002, Berlioze.S,2008).

La diffraction des rayons X par les monocristaux de la cellulose a permis d'établir que deux motifs β -D-gluco pyranosyles adjacents ne sont pas dans le même plan moyen. Ceci est dû aux liaisons hydrogène intramoléculaires entre l'oxygène hétérocyclique et l'hydrogène du groupement hydroxyle fixée sur le carbone 3'. Ainsi la dimension de l'unité cellobiose est toujours de 10.3Å.

En raison du grand nombre de groupement Hydroxyles sur la chaîne, il existe de multiples possibilités de liaisons hydrogène intermoléculaires. De plus il existe d'autres liaisons hydrogène mettant en jeu des molécules d'eau qui sont ainsi intimement liées à la cellulose. Toutes ces contraintes font de la cellulose une molécule fibrillaire et partiellement cristalline (Satge.C,2002).

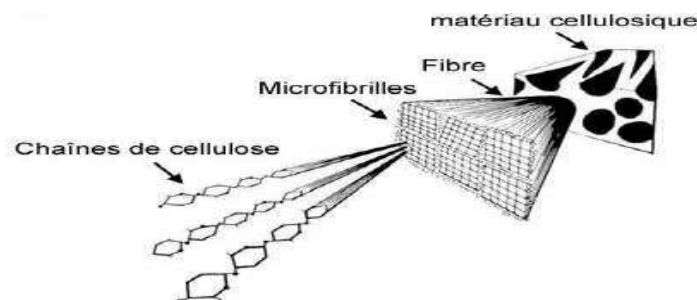


Fig. I.8 : Représentation schématique de la hiérarchie de structure dans une fibre cellulosique (Berlioze.S,2008).

Cet arrangement moléculaire ordonné des chaînes cellulosiques parallèles entre elles est la base d'un édifice cristallin que l'on appelle microfibrilles. La hiérarchie de structure et l'organisation supramoléculaire de la cellulose sont schématisées dans (Fig.1.9) (Berlioze.S,2008).

Dans la cellulose pure, la structure moléculaire est presque parfaitement régulière car elle ne contient de défauts que dans une unité sur mille environ. Le centre de ces microfibrilles est très cristallin tandis que les chaînes de surface sont de nature plus désordonnées et constituent des zones para cristallines. Ces zones, ainsi que les défauts de cristallinité qui surviennent lors de la biosynthèse de la cellulose forment la phase amorphe de la cellulose.

Donc les microfibrilles de cellulose sont constituées de zones cristallines parfaitement ordonnées et de zones amorphes, au contraire, totalement désordonnées. (Fig.I.9) (Joly.N,2003, Sedan.D , 2007).

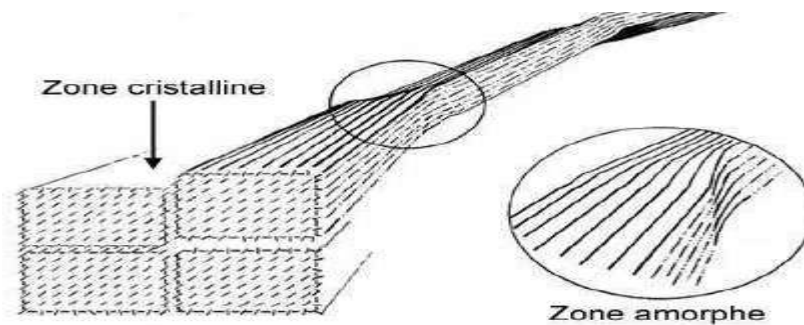


Fig. I.9 : Représentation schématique de l'alternance des zones cristallines et désorganisées le long d'une microfibrille (Berlioze.S,2008).

II.5.2. Hémicelluloses

On désigne par hémicellulose tout polysaccharide soluble dans l'eau et pouvant être extrait de la paroi des cellules végétales par des solutions acides.

Les hémicelluloses sont une classe de polymères très variés (de nombreux monomères et de nombreux branchements différents). Elles sont donc assez mal définies. Dans leurs états naturels, leur structure est fonction de l'espèce végétale. Elles ont un degré de polymérisation compris entre 200 et 300.

La figure I.10 montre les unités mono saccharidiques les plus représentatives des différentes familles d'hémicelluloses. Ce sont des polysaccharides dont la chaîne principale linéaire est constituée respectivement de xylose, de mannose et de galactose (Hatsch.D, 2004, Couhert.C,2007).

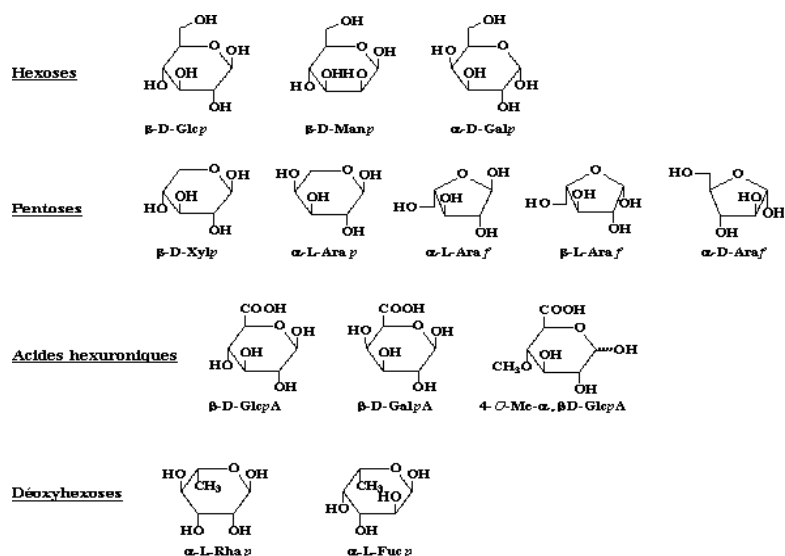


Fig.I.10 : Principaux glucides constituant les hémicelluloses (Hatsch.D, 2004).

II. 5. 3. Pectines

Les pectines jouent un rôle capital dans l'architecture de la paroi végétale. Ces substances pectiques sont présentes avec des proportions variées dans la plupart des végétaux (environ 1% dans le bois). Elles jouent le rôle de ciment intercellulaire et contribuent à la cohésion des tissus végétaux (Montiès.B,1980).

Sur le plan structural, les pectines sont une famille de polysaccharides complexes qui contiennent un enchaînement d'unités d'acide α -D-galacturonique liées entre elles par des liaisons α (1-4), interrompu par la présence d'unités Lrhamnopyranose.

Les pectines portent aussi des substances non sucrées, essentiellement le méthanol, l'acide acétique, l'acide phénolique et parfois des groupes d'amide.

L'estérification des résidus d'acide galacturonique avec le méthanol ou l'acide acétique est une caractéristique qui joue un rôle très important sur les propriétés physicochimiques des pectines particulièrement sur la formation de gel (Sharma.B. R,2006).

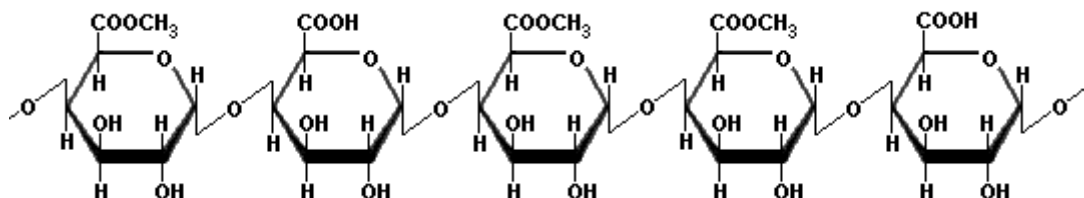


Fig.I.11 : structure de la pectine (Sharma.B. R,2006).

II. 5. 4. Lignine

La lignine est après la cellulose, la matière organique renouvelable et la plus abondante à la surface terrestre. La lignine originelle ou ‘protolignine’ constitue la plus importante fraction non saccharique des fibres végétales. C’est la matière ‘incrustante’ de la cellulose. La lignine est constituée de polymères phénoliques tridimensionnels, amorphes possédant trois unités différentes de type pénylopropane : les alcools p-coumarylique, coniférylique et sinapylique (Thiebaud.S, 1995).

Parce qu’il est impossible d’isoler la lignine native du bois sans la dégrader, sa masse moléculaire reste encore inconnue. Nous pouvons trouver des masses moléculaires approximatives dont les valeurs moyennes sont de 5000 à 10000 g/mol pour les bois durs (des feuillus), et de 20000 g/mol pour les bois tendres (des résineux). La figure I. 12 présentes les motifs élémentaires de la lignine.

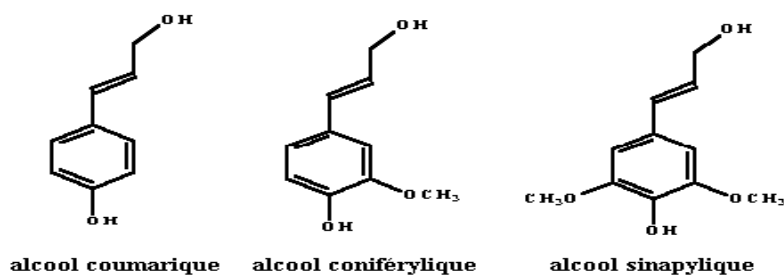


Fig. I. 12 : Motifs élémentaires de la lignine (Couhert.C,2007).

La lignine est peu sensible à la dégradation biologique et contribue à la protection naturelle des végétaux contre certaines attaques parasitaires (Couhert.C,2007).

II. 5. 5. Extractibles

Ce sont des molécules de faible masse molaire qui remplissent la lumière des cellules. Ils représentent 2 à 5 % de la masse sèche. La plupart de ces extractibles sont solubles dans l’eau ou des solvants organiques, d’où leur dénomination. La composition en extractibles varie en fonction de l’essence considérée et influe sur la couleur et l’odeur. Il s’agit de tanins, de pectines, de sucre et d’autres composés (Boustingorry.P, 2002).

Le tableau I.2 Composition chimique de quelques fibres (Davies.P,2006, Nenonene.A. Y. ,2009, et Bledzki A.K,1999)

Types de fibre	Cellulose	hémicellulose	Lignine
Cotton	82.7	5.7	-
Jute	64.4	12.0	11.8
Zoster	57	28	5
Ramie	68.6	13.1	0.6
Sisal	65.8	12.0	9.9
Chanvre	57-77	14-17	9-13
Kénaf (écorce)	44-60.8	20.3-23	10-19
Kénaf (bois)	37-49	18-24	15-21
Résineux	48.0	15.0	25.3

II. 6. Propriétés mécaniques de la fibre végétale

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

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

La cellulose cristalline est l'un des polymères ayant un module d'élasticité relativement plus élevé (90-137 Gpa), comparé à celui de la fibre de verre qui est de 75 Gp. Ainsi un index de cristallinité de la cellulose d'une fibre élevé est indicateur de propriétés mécaniques élevées.

Les fréquents défauts structuraux (Fig.I.13) observés de la surface des fibres sont des conséquences de la grande variabilité de morphologie, de composition chimique, de structure et de comportement mécanique spécifique de ces fibres.

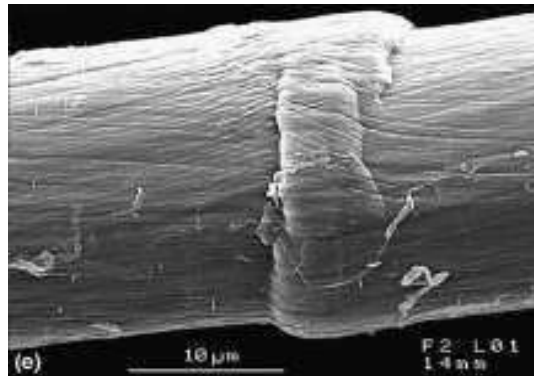


Fig.I.13 : Exemple de défaut structural sur une fibre de Lin (Charle.K,2006).

L'angle micro fibrillaire explique en partie la déformation élastique de la fibre végétale et dès lors son allongement à la rupture en traction. En effet, sous l'action de forces de traction relativement faibles, la fibre lignocellulosique subit une déformation réversible du fait de l'alignement progressif des microfibrilles cellulosiques avec l'axe de la fibre et une déformation élasto-viscoplastique des polymères amorphes (Charle.K,2006).

Si la sollicitation de la fibre est plus forte, la déformation de celle-ci entre dans une phase irréversible qui peut se poursuivre jusqu'à la rupture. Un angle micro fibrillaire élevé suppose une déformation élastique plus importante pour une sollicitation de la fibre en traction faible (Rowell.R.M,1995).

Le tableau I.3 : Propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec des fibres de renforcement conventionnelles (Bledzki A.K,1999).

Fibre	Densité (g/cm ³)	Allongement(%)	Résistance à la traction (Mpa)	Module de Young (Gpa)
Coton	1.5-1.6	7.0 - 8.0	287-597	5.5-12.6
Jute	1.3	1.5 - 1.8	393-773	26.5
Lin	1.5	2.7 - 3.2	345-1035	27.6
Chanvre	—	1.6	690	—
Ramie	—	3.6-3.8	400-938	61.4-128
Sisal	1.5	2.0 - 2.5	511-635	6.4-22.0
Coco	1.2	30.0	175	4.0-6.0
Verre E	2.5	2.5	2000-3500	70.0
Verre S	2.5	2.8	4570	86.0
Aramide	1.4	3.3 - 3.7	3000-3150	63.0-67.0
Carbone	1.4	1.4 - 1.8	4000	230.0-240.0

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

La sensibilité à l'humidité est remarquable, les fibres naturelles sont facilement influencées par l'environnement. De manière générale la haute teneur en humidité réduit les propriétés mécaniques.

III. Le palmier dattier

Le palmier dattier est typiquement cultivé dans les oasis sahariennes. Celui originaire d'Afrique du Nord, est amplement cultivé de l'Arabie jusqu'au Golf Persique, où il forme la végétation caractéristique des oasis. Il est cultivé en outre aux Canaries, dans la Méditerranée septentrionale et dans la partie méridionale des Etats-Unis. C'est une plante sensible au froid, qui pousse sur des terrains de n'importe quelle nature, pourvu qu'ils soient fertiles et bien drainés. Dans les régions à climat doux, il est cultivé en plein air, en position ensoleillée, utilisé surtout comme plante ornementale pour son allure élancée et son feuillage (Sbiai,2011).

Il existe plus de 2600 espèces de palmiers. On pourrait croire que c'est un arbre qui possède un tronc alors que c'est un monocotylédone qui ne contient pas de bois ni de tronc mais possède un stipe. De plus, c'est une plante dioïque contenant donc des palmiers mâles et des palmiers femelles. Le palmier est très élancé, généralement à une hauteur entre 15 et 25 mètres et peut atteindre parfois 30 mètres, couvert de manière visible par les gaines des feuilles tombées. Les feuilles, réunies en un nombre de 20 à 30 maximum, forment une couronne apicale clairsemée. Elles sont pennées, longues jusqu'à 6m ; les feuilles supérieures sont ascendantes, les basales recourbées vers le bas, avec des segments coriaces, linéaires, rigides et piquants, de couleur verte.

Le palmier dattier se constitue principalement de 10 parties à savoir :

1. Palmes

Les palmes sont les feuilles du palmier. Elles sont finement découpées et longues de 4 à 7 mètres. Les feuilles âgées peuvent rester contre le stipe quelques mois voire plusieurs années avant de tomber. L'ensemble des feuilles au sommet du stipe est appelé couronne ; elle peut faire de 6 à 10 mètres d'envergure.

2. Jeune palme

La jeune palme est enroulée pendant toute sa croissance comme les brins d'herbe ou les feuilles de bambous.

3. Régime de dattes

Un régime de dattes est la partie qui supporte les fruits du palmier. On parle aussi de régime pour les bananes. Il est accroché au palmier par la hampe, qui est d'ailleurs tellement résistante qu'elle doit être sciée pour être décrochée. Il peut contenir plus de 1000 fruits.

4. Dattes

Ces fruits sont des baies de forme ovale de 3 cm de long. La chair très sucrée entoure la graine. Récoltées en automne, leur couleur varie du rouge lumineux au jaune lumineux selon les variétés. Un palmier dattier peut produire de 10 jusqu'à 100 kg par an.

5. Gourmand

Un gourmand est une branche secondaire qui se développe sur une branche principale d'une plante. Il faut généralement les supprimer car comme leur nom l'indique, ils sont gourmands et épuisent inutilement la plante.

6. Stipe

Le stipe rappelle le tronc des arbres, mais il est en fait composé de fibres végétales des anciennes feuilles. Son diamètre peut varier légèrement selon les conditions climatiques.

7. Cicatrices annulaires

On a l'impression que le palmier a un «tronc recouvert d'écailles». Ces cicatrices annulaires correspondent au point d'attache de la feuille ancienne une fois le pétiole (support de la feuille) tombe. Elles permettent au grimpeur de s'y accrocher pour atteindre les dattes.

8. Rejet

Le rejet est une jeune pousse du végétal, dont il est possible de planter pour obtenir un nouveau palmier. Celui-ci sera choisi par l'homme parmi une sélection des meilleurs palmiers.

9. Bulbe

Se situant à la base du stipe, le bulbe constitue la réserve du palmier. De là part le système racinaire d'où émergent les racines primaires courtes de moins d'un mètre, et longues de plus de 20 mètres.

10. Racines

Elles sont nombreuses et profondes jusqu'à 20 mètres ; elles sont capables d'aspirer 500 litres d'eau par jour.

VI. Les fibres de palmier dattier

D'après Swamy (Swamy, 1984), les fibres extraites des palmiers décomposés s'avèrent fragiles, elles ont une faible résistance à la traction, un faible module d'élasticité et une absorption d'eau très élevée.

Les palmiers dattiers ont une structure fibreuse, avec quatre types de fibres (Kriker, 2005) :

- les fibres de feuilles dans le pédoncule,
- les fibres de baste dans les tiges ;
- les fibres de bois dans le tronc ;
- les fibres de surface autour du tronc (appelées localement : lif ou leaf).

(Kriker, 2005) a mené une étude sur les fibres de palmier dattier de surface. Il a justifié son choix, en disant que ces fibres semblent les plus appropriés pour l'exploitation. Cette étude est faite sur quatre types de fibres de surface de palmiers dattiers (FSPD) à savoir : le palmier dattier mâle, Deglette-Nour, Degla-Bida et Elghers (désignations locales). Les résultats ont révélé que les fibres de surface du palmier dattier mâle (FSPDM) ont une résistance à la traction meilleure que celle des autres types de fibres étudiées. Dans le cadre de cette étude, il a étudié aussi la morphologie et la structure des fibres par microscopie électronique à balayage (MEB). Les clichés MEB présentés sur les figures 1.15.a, 1.15.b et 1.15.c, montrent une coupe transversale typique, une coupe longitudinale typique et une vue longitudinale de la fibre FSPDM.

Les figures 1.15.a, 1.15.b montrent que la section de la fibre est dense avec un petit canal et de nombreux petits pores qui permettent la circulation de la salive. Ceci confirme que la structure est poreuse et que les fibres ont un comportement hydrophile. La figure 1.15.c montre que les fibres FSPDM possèdent une certaine rugosité sur leur surface, ce qui assure une bonne adhérence fibres matrice.



Fig. 1.14 : Photo du lif autour du tronc du palmier dattier (Taala.B,2014)

V. Conclusion

L'utilisation des fibres de toutes natures dans plusieurs domaines en particulier dans la construction est de plus en plus pratiquée. Vu les problèmes de santé que présente les fibres d'amiante, leur substitution par des fibres végétales ou polymères est un enjeu médico-économique important. De ce fait, de récentes recherches sont en cours dans le but d'améliorer les propriétés des matériaux renforcés par des fibres végétales, de verre ou de polymère.

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

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

Actuellement, les types de fibres les plus utilisés dans le renforcement des bétons sont les fibres d'acier. Mais vu le problème de santé que présente les fibres d'amiante et le problème économique que présente la production des fibres d'acier, de verre ou de polymère. Particulièrement pour les pays en voie de développement qui possèdent une grande richesse en fibres naturelles, l'avenir en terme de renforcement sera attribué aux fibres naturelles, ou bien à la limite pour les fibres composites (polymère-végétales). Ainsi, il est tant d'orienter les axes de recherches vers la valorisation des fibres naturelles dans la construction d'une façon générale et le béton d'une façon particulière.

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

Partie B : Matériaux composites et matrice cimentaire.**I. Les matériaux composites****I.1 Définition d'un matériau composite**

Un matériau composite est constitué généralement d'une ou de plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. Dans le cas de plusieurs phases discontinues de natures différentes le composite est dit hybride. La phase discontinue est habituellement plus dure et avec des propriétés mécaniques en traction supérieures à celle de la phase continue (JEAN MARIE.B., 1996.).

La phase continue est appelée matrice, la phase discontinue est appelée renfort Figure I.16

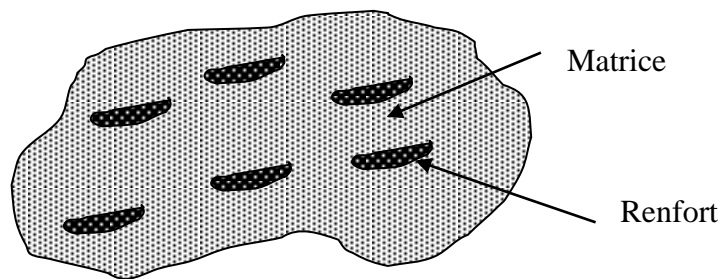


Figure .1.15 : Matériau Composite

Il est possible de définir des classes des matériaux composites en ce référant à la nature des composantes et en particulier aux fibres. Quelques exemples des matériaux composites sont donnés au tableau I-4.

Tableau 1.4 : Exemples des matériaux composites (RICAL.J. C,1992)

Type de matrice	Constituants	Domaine d'application
1- Composites à matrice organique <ul style="list-style-type: none"> • Papier carton • Panneaux de particules • Panneaux de fibres. • Toiles enduit • Matériaux d'étanchéité. • Pneumatiques • Stratifié • Plastiques renforcés 	Résine charges/ fibres cellulosiques. Résine/ copeaux de bois. Résine/fibres de bois Résines souples/tissus Elastomère/bitume/textiles Caoutchouc/toile/acier Résine/charges/fibres de verre, de carbone, etc. Résine/microsphères	Imprimerie, emballage, etc. Menuiserie Bâtiment Sport, bâtiment Toiture, terrasse, etc. Automobile Domaines multiples
2- Composites à matrice minérale <ul style="list-style-type: none"> • Béton 		

<ul style="list-style-type: none"> • Composite carbone – carbone • Composite céramique 	Ciment/sable/granulats Carbone- fibre de carbone Céramique/fibres Céramiques	Génie civil Aviation, espace, sports, biomédecine Pièces thermo-mécaniques
3-Composite à matrice métallique	Aluminium/fibres de bore Aluminium/fibres de carbone	Espace
4- Sandwich Peau Âmes	Métaux, stratifié Mousse, nid d'abeilles balsa, plastiques renforcés etc.	Domaines multiples

Les propriétés des matériaux composites dépendent :

- Des propriétés des matériaux constitutifs.
- De distribution géométrique des fibres.
- De l'interaction fibre-matrice.

Pour accéder à la caractérisation d'un matériau composite, il sera nécessaire de spécifier :

- La nature de l'interface matrice- renfort.
- La nature des constituants et leurs propriétés.
- La géométrie du renfort et sa distribution.

I.2. Matrice minérale et fibres végétales

Une des applications techniques les plus réussies dans le Génie Civil est le renforcement du béton par l'acier. En effet, le béton armé est un matériau composite constitué d'une matrice cimentaire additionnée à un renfort par barres d'acier.

Les nouveaux composites utilisables dans l'industrie de la construction doivent allier performances mécaniques et liberté architecturale tout en diminuant l'impact environnemental lors du processus de transformation. Les composites à matrice minérale constituent une solution envisageable afin de répondre à ces critères (Promis et al, 2009).

L'introduction de fibres végétales pour le renforcement est une technique très ancienne. En effet, nos prédécesseurs utilisaient de la paille pour renforcer l'argile, et le crin (poils de chevaux) pour renforcer de nombreux mortiers et du plâtre. (Ayyar , Mirihagalla . 1976.)

Les composites fibres ciment (CFC) constituent une alternative intéressante dans le domaine de la construction au regard de son efficacité énergétique et économique et de ses performances environnementales.

Les applications des composites à matrice minérale augmentent actuellement et touchent dorénavant les structures porteuses primaires. Par conséquent, des informations détaillées sont nécessaires pour la conception de structures CCF. Des travaux de recherches étudient non seulement le comportement mécanique du matériau mais également le développement des procédures de conception des éléments structuraux en utilisant ce genre de matériau (Promis et al, 2009).

I.3. Compatibilité des fibres végétales avec le ciment

L'aspect important du composite ciment fibres végétales est la compatibilité physique et chimique des fibres végétales avec le ciment. Il est bien entendu qu'avec l'addition des fibres végétales dans la matrice cimentaire, les temps de prise des ciments augmentent. L'hémicellulose, l'amide, les tanins et les sucres contenues dans les fibres sont en partie responsables de ces retards de prise.

L'alcalinité élevée de l'eau dans les pores de la matrice de ciment affaiblit les fibres de cellulose, induit leur minéralisation et par conséquent, l'affaiblissement de la ténacité des composites (Tonoli et al,2009, T.Mahmoud , 2005).

I.4. Définition d'un ciment

Le ciment est un liant hydraulique. C'est un matériau anhydre finement broyé qui, par simple mélange avec l'eau, développe des hydrates dont l'imbrication rigidifie le matériau granulaire non cohésif de départ en matériau cohésif présentant des propriétés mécaniques élevées.

D'un point de vue minéralogique, le ciment peut être définie comme un mélange d'oxyde basique, CaO noté C, et d'oxydes acides ou amphotères comme SiO₂, noté S, AL₂O₃, noté A, ou Fe₂ O₃, noté F, en notation cimentaire (Taylor.H, 2007).

Il existe deux grandes familles de Ciments Fig.1.17 :

- Les ciments Portland, constitués majoritairement de silice et de chaux et qui utilisés principalement dans les bétons de bâtiments et les ouvrages de génie civil.
- Les ciments alumineux qui se composent essentiellement d'alumine et de chaux. Ils sont développés au début du 20ème siècle par Bied. En raison de leur résistance aux attaques chimiques, de leur prise rapide ou de l'absence de chaux, ils sont utilisés en Génie Civil pour la confection de sols industriels, d'ouvrage d'assainissements ou des mises en service rapides, et dans la réalisation de réfractaires monolithiques utilisés dans l'industrie sidérurgique ou verrière (Auvray., 2003).

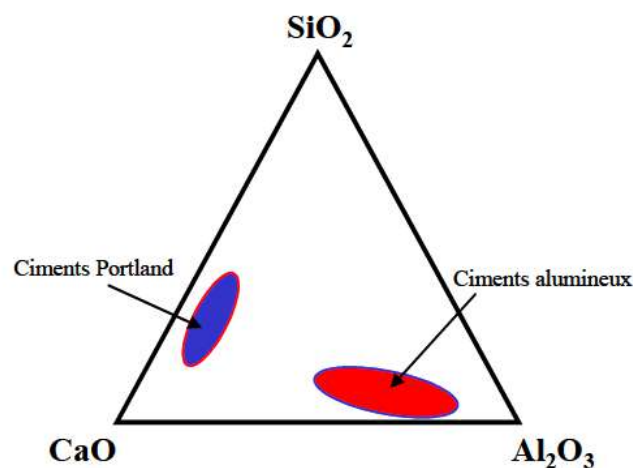


Fig. 1.16 : Diagramme de phase ternaire CaO-SiO₂-Al₂O₃, et repérage des compositions de Ciment Portland et de ciment alumineux (Scrivener., 2001).

I.4.1. Ciment portland

Le ciment portland est constitué principalement de clinker. Ce dernier est obtenu par mélange de matières premières naturelles de composition chimique adéquate. La préparation du cru consiste à mélanger de manière homogène du calcaire (80%) et des minéraux riches en silice et alumine (20%) : l'argile ou le kaolin. Le cru est ensuite calciné à 1450°C pour former le clinker (Govin, 2004).

Les granules de clinker, d'un diamètre compris entre 5 et 40 µm, sont finement broyées avec addition de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ de 3 à 5 % en masse) dont le rôle est de réguler la prise.

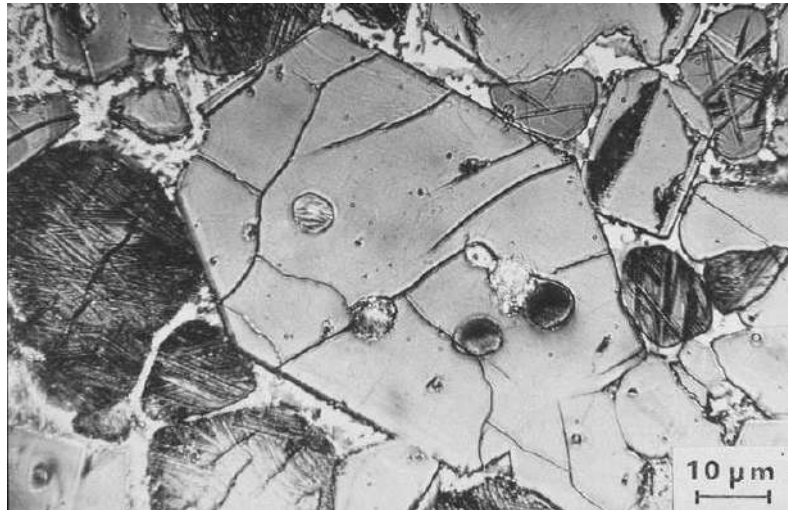


Fig. 1.17: vue de clinker par microscope optique (Noirfontaine., 2000).

I.5. Hydratation du ciment portland

Le contact du ciment déclenche un mécanisme d'hydratation comprenant (dans l'ordre où elles s'effectuent) les réactions d'adsorption, d'hydrolyse, de dissolution, de solvatation, de précipitation, cristallisation, germination, migration et de diffusion (Mahmoud.T., 2005.).

L'hydratation correspond à une suite de réactions chimiques entre les différents composants de clinker, le gypse et l'eau.

Sur le tableau 1.5 on peut voir que les silicates de calcium représentent à peu près deux tiers de la composition du ciment. Ces produits réagissent avec l'eau et forment le produit principal d'hydratation, appelé calcium silicate hydraté C-S-H, et l'hydroxyde de calcium, CH appelé portlandite (Ghazali.M.J et al,2008. et Govin.A ,2004.).

Tableau. I.5: Les différentes phases de clinker (SBIAI.A,1980)

Désignation des minéraux purs	Formules	Abréviation	Solution solide de la phase pure présente dans le clinker	Répartition%
Silicate tricalcique	$3\text{CaO},\text{SiO}_2$	C3S	Alite	45 à 65
Silicate Bicalcite	$2\text{CaO},\text{SiO}_2$	C2S	Bélite	10 à 30
Aluminate tricalcique	$3\text{CaO},\text{Al}_2\text{O}_3$	C3A	Célite	5 à 15
Alumino ferrite de calcium	$2\text{CaO},p\text{Al}_2\text{O}_3$ $(1-p)\text{Fe}_2\text{O}_3$	C2ApF1-p	Alumino ferrite	5 à 15

L'hydratation de l'alite (C3S impur) et de la bélite (C2S impur) fournit une grande partie de la résistance développée dans la pâte du ciment. Le C-S-H et le CH occupent respectivement environ 50 à 60% et 20 à 25% du volume total des hydrates.

Le C-S-H est un gel amorphe qui contient des pores, appelés pores de gel, dont le diamètre est de l'ordre de quelques nanomètres. La finesse de la porosité de gel, crée une surface spécifique de quelques centaines de m^2/g .

Par conséquent, le C-S-H est responsable de la plupart des propriétés de la pâte de ciment durcie, comme la résistance, la perméabilité, les variations de volume, etc.

Une autre conséquence de la porosité très fine et de la surface spécifique très grande est l'association et les interactions significatives entre la phase solide et la phase aqueuse de CSH.

En plus de l'eau dans les pores de gel, le C-S-H contient une certaine quantité d'eau chimiquement liée. Contrairement au C-S-H, le CH est un matériau cristallin avec une composition fixe. C₃A et C₄AF réagissent avec le gypse et l'eau et produisent l'étrangéité (Ghazali.M.J et al , 2008).

A température ambiante, après le mélange du ciment et de l'eau, le coulis préparé reste dans un état relativement fluide jusqu'à 2 à 4 heures et ensuite commence à se solidifier

avec une vitesse plus rapide. La phase de prise initiale correspond au temps nécessaire pour que le coulis perde sa fluidité. La résistance de ciment augmente rapidement dans les deux premiers jours et continue à augmenter plus lentement pendant plusieurs mois. Le processus d'hydratation et la formation de la microstructure de la pâte du ciment, schématisés sur la figure I.2, commencent par la production des hydrates solides qui naissent à la surface des grains anhydres et remplacent l'espace initialement rempli par l'eau. Ces hydrates, appelés C-S-H de faible densité forment une matrice continue et relient les grains anhydres. En raison de leur densité plus faible ($\sim 2 \text{ gr/cm}^3$ à comparer avec $3,2 \text{ gr/cm}^3$ pour les grains anhydres) ils occupent un volume plus grand que les grains anhydres. Par conséquent, la porosité capillaire qui est initialement remplie par l'eau, diminue progressivement au cours de l'hydratation. Les hydrates de faible densité contiennent des impuretés et ont une porosité élevée, environ 0,37 pour un ciment ordinaire hydraté à température ambiante (M.N. Noirfontaine, 2000).

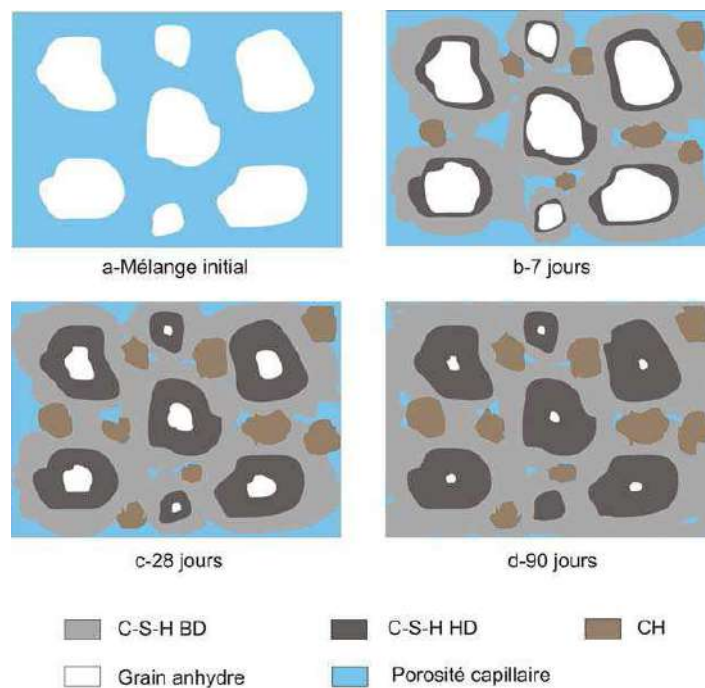


Fig. 1.18 : Le processus d'hydratation de la pâte du ciment : (a) Mélange initial ; (b) 7 jours ; (c) 28 jours ; (d) 90 jours (Ghazali.M.J,2008.).

I.6. Propriétés mécaniques de ciment

Les propriétés mécaniques (résistance en compression, en traction, module de Young) évoluent continûment avec le durcissement du matériau. Par ailleurs la croissance de ces caractéristiques est fortement accélérée par la chaleur.

Le durcissement des pâtes de ciment s'accompagne d'un accroissement important des résistances mécaniques. Mais il y a des paramètres principaux dont dépend de la résistance de la pâte durcie comme la porosité est la composition du solide.

En ce qui concerne la porosité, il ressort des travaux de nombreux chercheurs que la résistance à la compression et le module d'élasticité sont des fonctions exponentielles de la porosité et quand elle augmente pendant le temps de durcissement, elle conduit à la diminution de la résistance à la compression et du module d'élasticité (Govin ,2004, Yahiaoui.Y,2011.).

I.7. Conclusion

La plupart des travaux, effectués dans le domaine des composites ciment-fibres végétales, concernent la caractérisation mécanique de ces matériaux. Néanmoins, ces dernières années, des études ont tenté de modifier la surface de ces végétaux afin d'améliorer leur durabilité et leur compatibilité au sein de la matrice cimentaire. Une autre solution a été de diminuer l'alcalinité de la matrice afin de réduire les interactions entre les fibres et leur environnement. Ces deux traitements essaient de pallier le procédé de minéralisation des fibres sans l'empêcher totalement. Concernant les retards de prise du ciment provoqués par la fibre végétale, les explications apportées sont souvent complexes et parfois contradictoires. Il est alors nécessaire d'approfondir les mécanismes intervenant lors de l'hydratation du ciment au contact des fibres. Au cours de l'hydratation du ciment, des phénomènes physico-chimiques se produisent au niveau de l'interface fibre-matrice. L'hydratation des constituants du ciment et la formation des hydrates en sont certainement modifiées. La littérature est vague à ce sujet, malgré des conséquences sur la maîtrise du procédé de fabrication.

Chapitre II :

comportement

et

durabilité de béton de fibres

Comportement et Durabilité de Béton de Fibres

II.1. Comportement

II.1.1 Introduction

Pendant les deux dernières décennies un effort considérable a été orienté vers l'utilisation des fibres végétales, qui sont en abondance dans les régions tropicales et subtropicales du monde, en tant que renforcement du matériel pour la production d'éléments de bâtiment, en combinaison avec la matrice de mortier ou matériau de pâte de ciment, pour produire de logements peu coûteux.

Dans le but de trouver un produit qui remplace l'amiante ciment. Bien que ce dernier matériau ait réussi tout au long de sept décennies du 20ème siècle, leur utilisation a commencé à être interdite dans les pays industrialisés en raison du risque sérieux qui présente sur la santé humaine. Malheureusement, des produits en amiante sont encore produits et employés dans les pays sous-développés et en voie de développement.

Dans la production des composés à base de matrices cimentaires fragiles, la contribution principale des fibres est d'améliorer la résistance à la flexion et à la traction et d'éliminer le développement des fissures. Il y a eu de souci concernant l'utilisation des fibres végétales dans les matrices cimentaires qui principalement dû à la chute de la durabilité à long terme du composé. Ceci est dû à une combinaison d'un affaiblissement des fibres par attaque d'alcali, minéralisation de fibre provoquée par la migration des produits d'hydratation aux fibres dans le lumen et les vides en plus de la variation de volume des fibres dû à leur absorption élevée d'eau. L'ampleur de l'attaque dépend du type de fibre, de la composition de la matrice de ciment, de la porosité de la matrice et de l'environnement de vieillissement.

Dans cette partie, sera étudié le comportement des bétons des fibres en milieux alcalins. Il sera examiné aussi la durabilité des fibres. Ainsi, met en évidence la durabilité des fibres de palmier dattier en milieux alcalin ainsi que celle des bétons et mortiers de ces fibres. Il sera examiné aussi les possibilités d'amélioration de la durabilité des fibres ou des matériaux composites de béton de fibres (BF) ou mortier de fibres (MF), notamment dans les conditions chaudes et sèches.

II.1.2. Béton de Fibres

L'association fibre béton constitue un matériau composite ayant un comportement différent de celui du béton classique, qui se caractérise principalement par sa bonne résistance à la traction et à la fissuration.

II.1.2.1. Comportement Mécanique des Bétons de Fibres

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

- ◇ Les propriétés des fibres qui dépendent de :
 - La nature de fibre (acier, verre, polymère ou végétale)
 - L'élanement des fibres.
 - La quantité d'incorporation des fibres.
- ◇ Les propriétés de la matrice qui dépendent aussi :
 - De la qualité et la quantité de ciment.
 - De la qualité et les dimensions des granulats.
 - Du rapport E/C.
- ◇ Le comportement de la bande d'interface qui dépend :
 - De la longueur des fibres.
 - De la distribution des fibres, leur orientation et leur espacement.
 - De type de cure.
 - Du mode de chargement.
- ◇ Les conditions de la mise en œuvre qui dépendent :
 - Du mode de remplissage du béton (pression, vibration).

Dans un premier temps, nous allons présenter le comportement des éléments qui constituent ce matériau composite à savoir les fibres et la matrice de béton. Par la suite sera donné, le comportement à l'interface fibre-matrice, la microstructure des bétons de fibres, et en fin la durabilité.

II.1.2 Comportement en Traction des Fibres

Le comportement en traction des fibres dépend de la nature de celle-ci. Ainsi, si le comportement en traction de l'acier est défini avec précision (élasto-plastique écrouissable) du fait que l'acier est un matériau homogène, le comportement des fibres végétales ne l'est pas parce qu'il dépend de plusieurs paramètres très variables tels que la composition chimique, la teneur en eau et l'élanement (L/d).

La Figure. II-1 présente quelques courbes expérimentales (contrainte-déformation) données par (SWAMY et al 1984). Selon ces courbes nous constatons que les fibres testées (Canne de sucre, Jute ou Noix de coco) ont un comportement presque élastique et linéaire au démarrage de l'essai ensuite un comportement plastique jusqu'à la rupture.

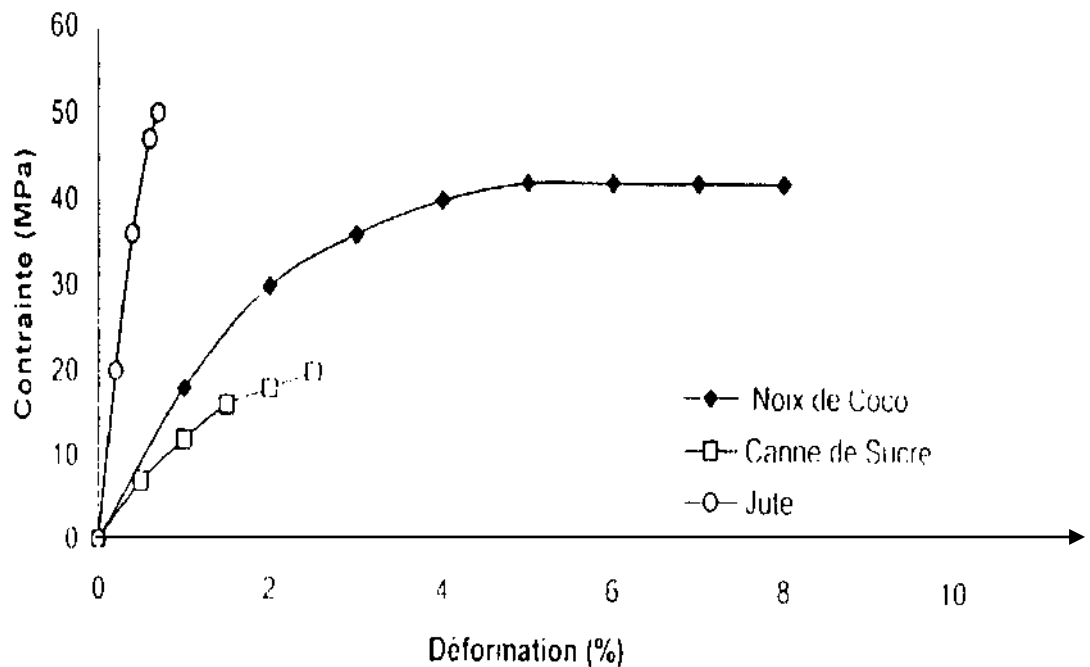


Figure.II.1 : courbe contrainte déformation de quelques fibres végétales (SWAMY.R.H 1984)

II.1.2.3. Comportement de La Matrice

Le comportement de la matrice des bétons de fibres est similaire à celui du béton classique qui est assez compliqué et le débat est relativement ouvert quant au choix des théories et des méthodes de calcul pour sa modélisation. La rupture des bétons peut être caractérisée par la naissance des propagations puis la coalescence des macros fissures qui conduisent à la formation des macros fissures et à la ruine finale.

La figure II.2 présente le comportement en traction et en compression de la matrice.

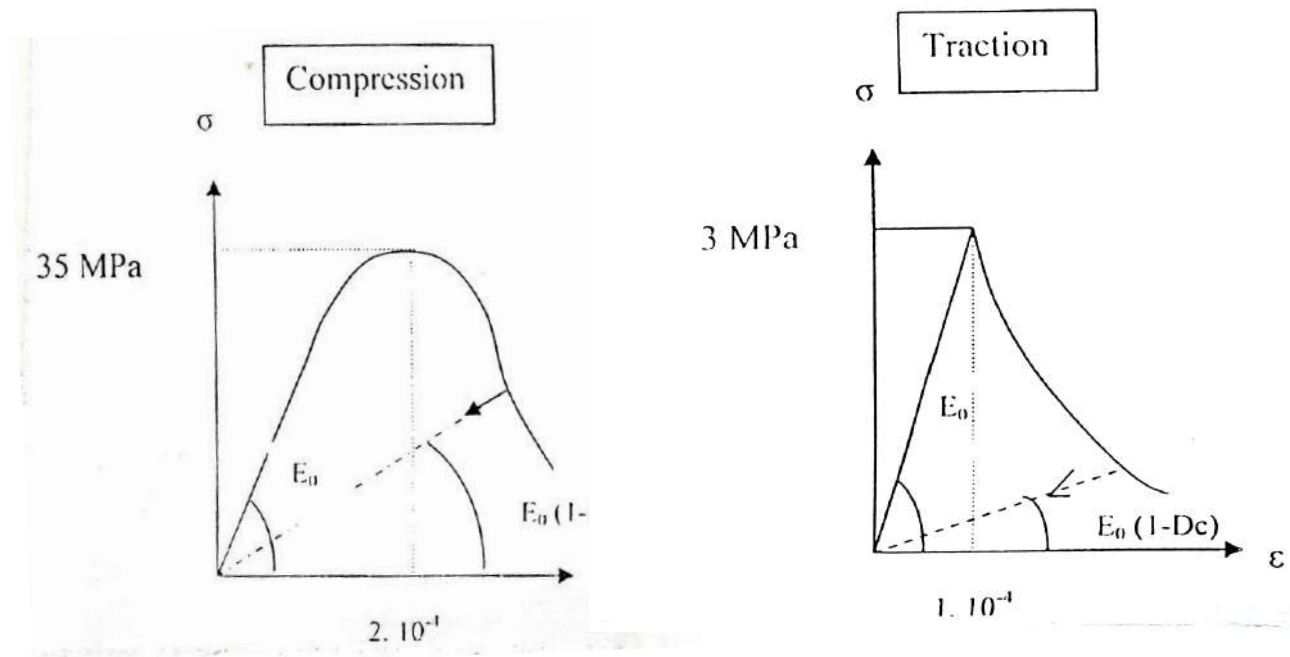


Figure II.2 : comportement du béton sous sollicitations uni-axiales (DEVENNE.L, 1989)

II.I.2.4. Propriétés des composites à matrice cimentaire renforcés par des fibres végétales

Les études réalisées sur les matériaux composites à base de fibres végétales brutes mettent en évidence une modification du comportement mécanique du composite. Alors que la matrice cimentaire pure présente un comportement élastique linéaire fragile, les éprouvettes de composite fibré testées en flexion trois points conservent leur intégrité même au delà de la charge maximale, et continuent à supporter une charge significative dans la partie post-pic (Aziz, 1984).

Ce phénomène est mis en évidence par la figure II.3 représentant le comportement d'une matrice cimentaire pure et de la même matrice renforcée par 16% en volume de fibres de chanvre.

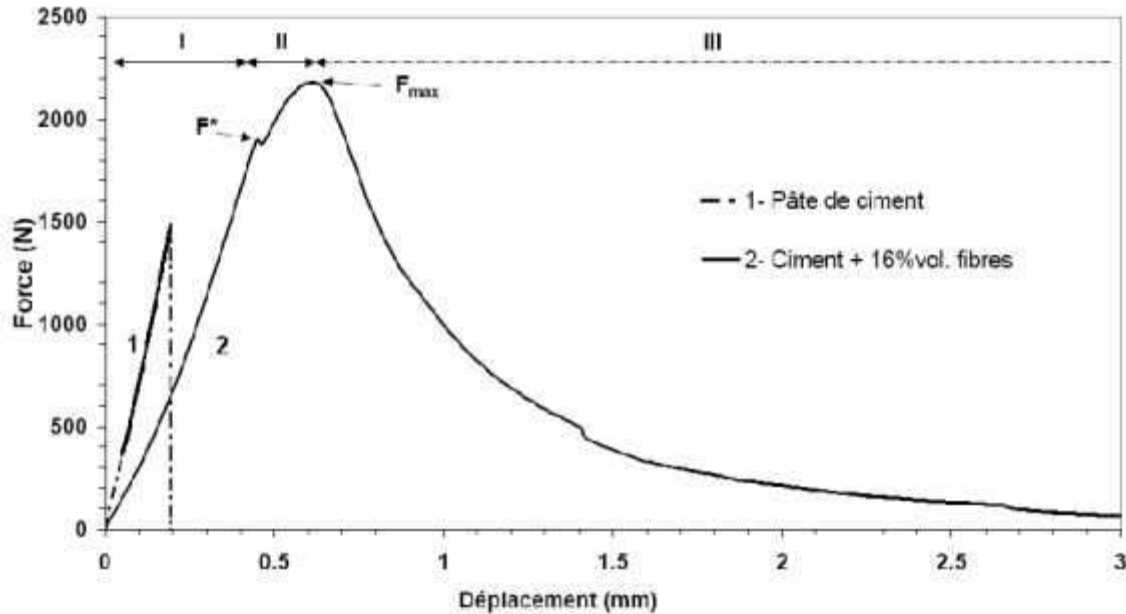


Fig. II.3: Courbes du comportement typique d'un échantillon de ciment pur (1) et d'un composite ciment/fibres de chanvre (2) en flexion 3 points (Sedan, 2007).

L'auteur (Sedan, 2007) distingue trois phases dans le comportement du composite fibré :

- phase I : comportement quasi-linéaire proche de celui de la pâte de ciment seule, dans cette phase les efforts sont majoritairement repris par la matrice ;
- phase II : à partir de F^* apparition de la première fissure de la matrice, puis reprise de la charge par les fibres, qui, d'après l'auteur, limitent la propagation de la fissure par un effet de pontage ;
- phase III : au delà de F_{max} , diminution contrôlée de la charge contrairement à la pâte de ciment seule qui casse brutalement. L'auteur associe cette phase à une rupture progressive des interfaces fibres/matrice suivie d'un déchaussement des fibres.

L'incorporation de fibres végétales modifie peu la charge d'apparition de la première fissure, qui est liée principalement aux propriétés de la matrice, mais une fois la fissure apparue, les fibres limitent la propagation de la fissure (Aziz, 1984).

Le passage d'une matrice fragile à un composite fibre ductile présentant un comportement post-pic adoucissant est relevé par tous les auteurs. Cependant, cette modification du comportement ne va pas forcément de pair avec une amélioration de la résistance en flexion (Kriker.,2005) c'est pourquoi le paramètre prépondérant pour rendre compte de la contribution de fibres dans le comportement du composite est sa ténacité qui représente

l'aptitude du matériau à absorber une certaine quantité d'énergie avant la rupture (ACI, 1996).

II.1.3. Comportement du Matériau Composite

Le comportement du matériau composite de béton de fibres est très compliqué du moment que c'est le résultat du comportement de deux matériaux non homogène, comme nous avons vu précédemment. Dans ce qui suit nous allons examiner le comportement de ces matériaux sous différentes sollicitations.

II.1.3.1. Comportement en Compression

La plupart des auteurs affirment que la résistance à la compression des bétons de fibres est en générale légèrement inférieure à celle du béton classique et spécialement pour les fibres végétales voir figure II.4 (AIT AMEUR, 1998).

, KHENFER.,1990], Certains chercheurs [AIT AMEUR,1998, DEBICKI,1988] révèlent qu'une orientation adéquate des fibres métalliques a permis d'améliorer la résistance à la compression des bétons de fibres par rapport au béton classique d'environ 15%

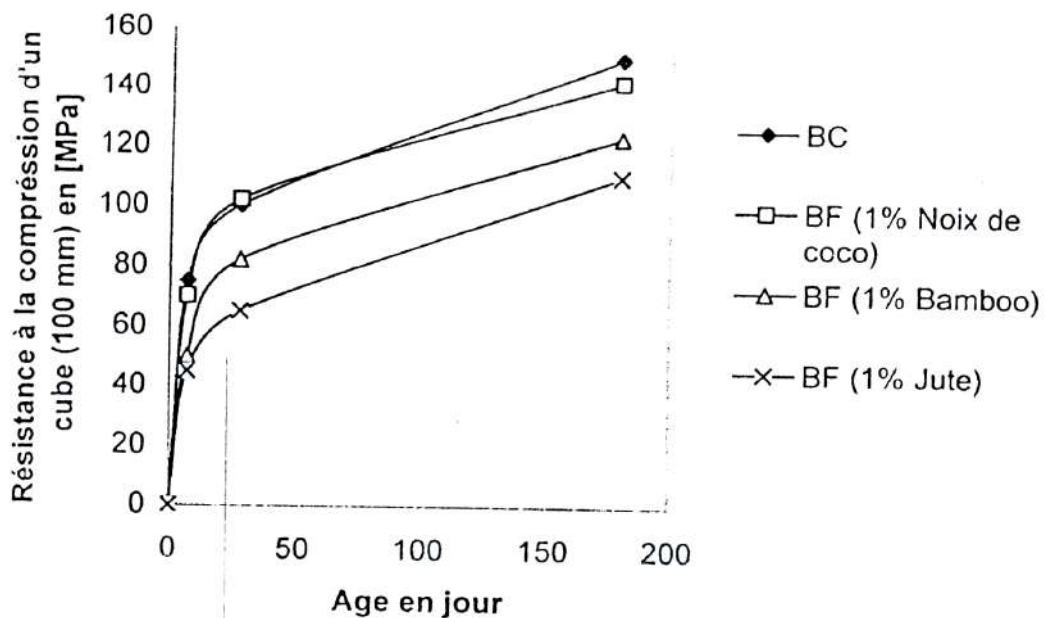


Figure II.4 : Résistance à la compression de quelques bétons de fibres végétales en fonction du durée (SWAMY, 1984).

Le comportement et le mécanisme de rupture des bétons de fibres en compression a été interprété par (MONGAT, AZARI 1984), qui rapportent qu'en compression, la présence des fibres favorise l'apparition des micro fissures. Celle-ci se propagent rapidement et entraînent la rupture du matériau.

De ce fait, les travaux de (DEBICKI, 1988) relatifs à l'effet de l'orientation des fibres sur la relation contrainte déformation en compression des bétons de fibres métallique Figure II.5 permet de conclure que :

- La première phase élastique n'est guère modifiée par le changement de l'orientation des fibres.
- L'initiation d'une microfissuration plus intense pour $\theta = 0^\circ$ (le chargement est perpendiculaire aux fibres) donne une plus grande souplesse à l'éprouvette.
- $\theta = 90^\circ$ (le chargement est parallèle aux fibres) favorise la formation de colonnettes qui facilitent la création des macro-fissures.
- $\theta = 0^\circ$ Les fibres par effet de couture retardent la formation des colonnettes et de fissures.
- Les phénomènes d'instabilité sont nettement retardés pour $\theta = 0^\circ$.

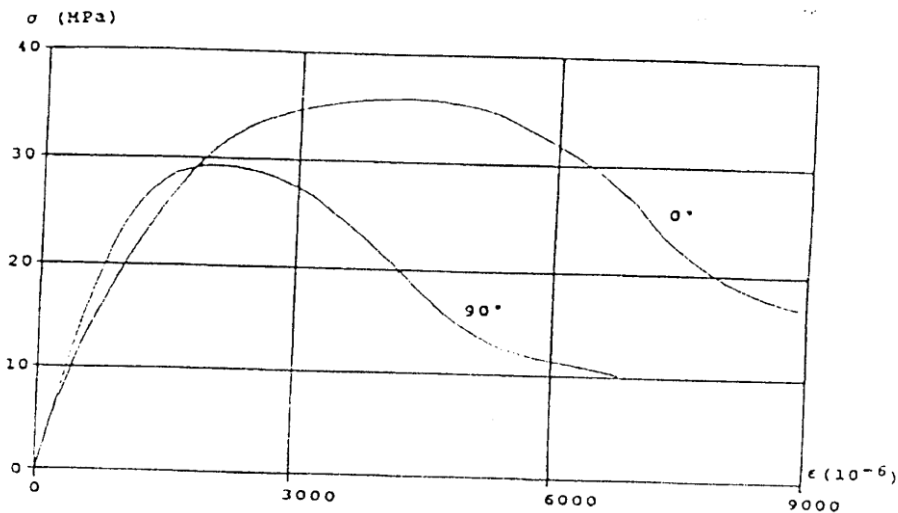


Figure II.5: Relation contrainte déformation des bétons de fibres en fonction de l'angle d'orientation (DEBICKI, 1988)

II.I.3.2. Comportement en 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 en traction, surtout après l'apparition de la première fissure.

En fait, avant l'apparition de la première fissure le comportement du béton de fibres en traction uni axiale est presque similaire au béton classique. En revanche, le comportement post-fissuration est fortement lié à la nature des fibres, à leur longueur, à leur quantité et leur orientation.

II.I.3.3. Comportement en Flexion

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

La figure.II.6 présente le diagramme flèche-effort des BF en flexion quatre points

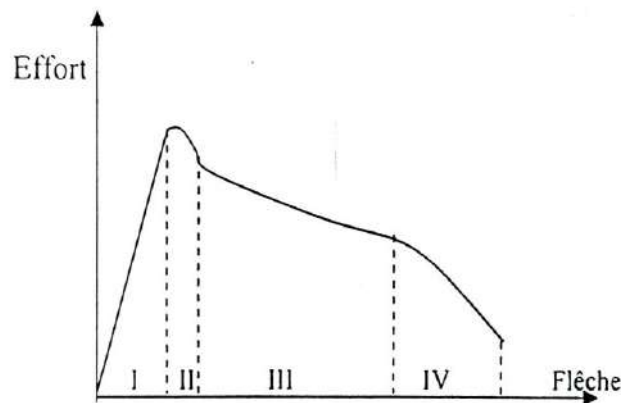


Figure. II.6: flèche-effort des BF en flexion quatre points (norme 18-409).

Le diagramme flèche-effort des BF en flexion comporte quatre zones

- Zone I : Comportement élastique : Les fibres n'interviennent pas. Seul les caractéristiques de la matrice régissent le comportement.
- Zone II : Localisation des microfissures qui conduit à l'apparition de la première macro fissure.
- Zone III : Propagation de la macro fissure. Le dosage et l'orientation des fibres sont fondamentaux.

- Zone IV : Ouverture de la principale macro fissure de manière importante qui correspond à une dégradation du renforcement soit par déchaussement soit par rupture des fibres.

II.I.4. Microstructure de Béton de Fibres

Pour mieux comprendre le comportement mécanique, physique ou chimique des bétons de fibres, il est important de connaître leur microstructure. En effet, il est évident que les propriétés du BF dépendent directement de la nature, la quantité des fibres et la matrice du béton ainsi que l'adhérence entre eux.

L'étude microstructurale des BF nous permet aussi d'élucider sa structure chimique, et de comprendre son comportement mécanique et son mode de rupture (KHENFER.M.M., 2000.).

Ainsi, les observations au microscopes électroniques à balayage des surfaces de rupture des bétons de fibre de cellulose effectuées par (KHENFER.M.M, 1990) ont montrés que la liaison chimique entre les fibres et la matrice du ciment se justifie par la morphologie et la nature des constituants du composite, sachant que le ciment est un matériau fortement alcalin et contient des groupes d'hydroxyde de métal. Alors que les fibres de cellulose comme toute fibre végétale contiennent des groupes d'hydroxyde.

(KHENFER.M.M, 1990) conclut, qu'à l'état sec ou ambiant du matériau composite (matrice-fibre), les fibres sont liées à la matrice par plusieurs liaisons hydrogènes et hydroxydes. Le transfert de chargement aux fibres (après rupture de la matrice) passe par ces liaisons jusqu'à la fracture de la fibre. Cependant, dans le cas où le matériau est humide ou saturé, les liaisons hydrogènes entre fibres ou entre fibre-matrice seront détruites par l'insertion des molécules d'eau entre les groupes d'hydroxydes de la matrice, d'où une chute dans l'adhérence. A ce moment si les fibres se gonflent, des forces de friction seront développées, ce qui peut provoquer des fissurations.

II.2. Durabilité

II.2.1. Introduction

La durabilité d'un ouvrage est sa durée de vie. La durée de vie d'un ouvrage étant le temps durant lequel l'ouvrage remplit en toute sécurité les fonctions pour lesquelles il a été construit, compte tenu des conditions de service et des exigences économiques

Pour les matériaux on parlera plutôt de durabilité du béton par exemple, qualifiant ses aptitudes à maintenir ses caractéristiques, par exemple sa résistance mécanique. Pour les ouvrages on parlera de durée de vie ou durée de service. On emploie aussi le terme de durée de service.

II.2.2. Durabilité des matériaux

La durabilité directement liée à l'environnement immédiat ou futur des ouvrages et partie d'ouvrage est aujourd'hui le paramètre important à considérer pour optimiser la résistance des bétons aux influences externes : intempéries, agressivité des sols, atmosphères chimiquement agressives. La seule durabilité intrinsèque du béton peut être insuffisante pour garantir la durée de service de l'ouvrage.

Prescrire un béton durable nécessite donc d'apprécier, dès sa conception, l'ensemble des contraintes environnementales, des agressions et des attaques potentielles, qu'il aura à subir pendant toute sa durée de service, et de respecter et mettre en œuvre les recommandations en vigueur. Il convient de ne pas assimiler la durabilité d'un produit de construction à celle de l'ouvrage. En effet, il est inutile de formuler un béton intrinsèquement durable, si sa mise en œuvre au sein de la structure n'est pas conforme aux règles de l'art et si les diverses sollicitations auxquelles il est soumis n'ont pas été correctement appréciées, ce qui conduirait à ce que l'ouvrage ne remplisse pas durablement sa fonction pendant sa durée de service requise.

La durabilité est la qualité d'un matériau de conserver la stabilité de ses propriétés initiales sur une durée calculée ou estimée. Les matériaux de construction ont, sans exception, une durée de vie limitée. Au fil des temps, tout ouvrage connaît plus ou moins rapidement des altérations. Le béton et le béton armé, dont nous avons une expérience de durabilité de l'ordre d'un siècle, n'échappent pas à cette règle. En fin de compte, tout ouvrage doit être entretenu, réparé, ou même refait ou remplacé selon les conditions de service et l'ampleur des dégradations.

Le béton est un matériau hétérogène par sa composition, sa durabilité dépend en grande partie de sa porosité donc des caractéristiques de la pâte de ciment durci (BEHIM.M, 2011).

II.2.3. Principaux Facteurs Influençant la Durabilité du Béton

Le béton peut être durable lorsqu'il conserve toutes ses propriétés pour la durée de service pour laquelle il a été conçu. Cependant, il peut aussi se dégrader en perdant toutes ou parties de ses propriétés essentielles au cours d'une durée de service assez courte.

Les causes principales de ces dégradations peuvent être d'origine mécanique, climatique et/ou chimique et peuvent aussi provenir des défauts initiaux dus à une conception mal adaptée, à un choix mal adapté des matériaux et en particulier le type de ciment, à une formulation inconvenante ou à une mauvaise mise en œuvre du béton.

Les principales des causes responsables des dégradations du matériau et de la structure peuvent être classées en trois catégories :

1. Les causes physico – mécaniques (gel / dégel, le feu, surcharge...)
2. Les causes environnementales d'ordre chimiques (eau de mer, eau sulfatée, eau pure, gaz carbonique...)
3. Autres causes (formulation, mise en œuvre, cure, conception et calcul, conditions d'exploitation ...)

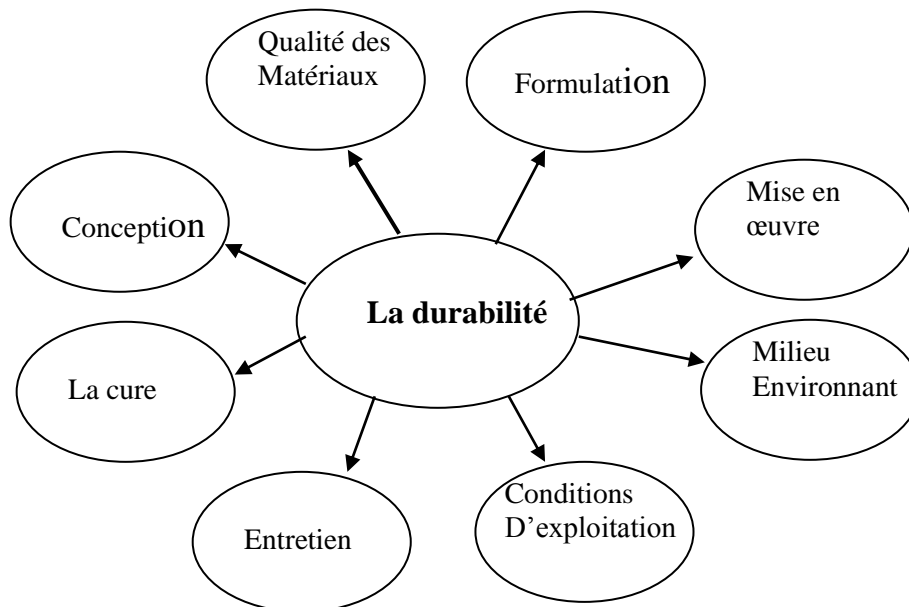


Figure II.7: Les facteurs influençant la durabilité des bétons et des ouvrages

II.2.4. Paramètres de Durabilité des Bétons

II.2.4.1. Introduction

Les dégradations qui affectent les ouvrages en béton peuvent avoir plusieurs origines, qu'on peut généralement regrouper en cinq grandes familles

- Les facteurs liés à la conception de l'ouvrage
- Les facteurs liés à la mise en œuvre et cure de l'ouvrage
- Les facteurs liés aux caractéristiques des matériaux et du béton
- Les facteurs liés à l'entretien de la structure
- Les facteurs climatiques et environnementaux

Les facteurs climatiques et environnementaux sont les seules causes de dégradation du béton que l'homme ne peut pas maîtriser car ce sont des situations naturelles dont on ne peut pas, dans la majorité des cas modifier ou changer.

II.2.4.2. Les facteurs climatiques et environnementaux et leurs effets sur les bétons

a) Climat froid :

- Fissuration interne due au gel-dégel
- Écaillage dû aux sels fondants
- Corrosion des armatures

b) Climat chaud et humide

- Attaque par les eaux agressives
- Réactions alcalis - granulats

c) Climat semi – humide

- Carbonatation

d) Environnement marin

- Attaque par l'eau de mer
- Corrosion des aciers d'armature
- abrasion par les glaces

Cependant des insuffisances au niveau d'un facteur relié à la conception, à la mise en œuvre et cure, aux caractéristiques des matériaux et à l'entretien de la structure peut être considéré comme un paramètre aggravant et peut entraîner des répercussions importantes sur la durabilité et la performance générale de l'ouvrage. Pour s'assurer de cette durabilité, pendant longtemps, les bétons ont été définis en considérant les performances mécaniques requises à 28 jours associées éventuellement à un dosage minimum en ciment. Prescrire

Un béton performant ayant en principe un dosage correct en ciment et une bonne compacité, ces deux prescriptions (exigences) pouvaient effectivement garantir une certaine durabilité du matériau béton. Aujourd'hui, la durabilité est considérée par un ensemble de propriétés dont, bien sûr, la résistance mécanique à 28 jours. Les autres caractéristiques prises en compte visent à assurer l'adéquation (lien) entre les propriétés physico-chimiques du béton et les contraintes qui s'appliquent à l'ouvrage.

Les caractéristiques à prescrire (imposer) pour garantir la pérennité (continuité) des ouvrages sont désormais (dorénavant) plus complètes et plus précises. La notion de durabilité d'un ouvrage se traduit par un ensemble de spécifications (définitions) techniques basées sur des méthodes d'essais directes ou indirectes, sur l'expérience et sur des préconisations (recommandations) du choix des matériaux, de formulation, de fabrication, de mise en œuvre et d'entretien.

Il est possible désormais de définir des objectifs de durabilité et de choisir avec précision les caractéristiques du béton en fonction de l'agressivité du milieu dans lequel se trouve l'ouvrage et d'optimiser ses caractéristiques afin de les adapter à la durée de service souhaitée.

Les spécifications concernent :

- La nature du ciment (type et teneur d'addition)
- Le dosage minimal en ciment,
- la valeur maximale du rapport Eau/Ciment (la compacité minimale)
- L'épaisseur de la couche d'enrobage des armatures,
- La teneur maximale en chlorures dans le béton apportée par les granulats, le ciment, les additions et les adjuvants
- La composition minéralogique du ciment et surtout la teneur en C3A dans le ciment

Les connaissances actuelles sur les ciments et les bétons permettent d'optimiser et d'adapter encore mieux la composition et la formulation des bétons aux contraintes environnementales aux quelles ils seront soumis, tout en respectant les critères de performances mécaniques.

Les ciments actuels répondent aux exigences des emplois usuels ; les milieux qui présentent des agressions spécifiques nécessitent le recours à des ciments présentant une caractéristique particulière du fait de leur composition. De façon générale, pour obtenir la durabilité spécifiée (indiquée), il convient de respecter les recommandations (conseils) ou les normes (règles) d'exécution des ouvrages.

II.2.4.3. La Porosité et la Fissuration Facteurs de Durabilité

La pénétration et l'écoulement des agents agressifs dans le béton durci s'établissent par l'intermédiaire :

- d'un réseau de fissures, qui résulte lui-même du fonctionnement normal de certaines structures en béton armé et éventuellement de diverses causes pathologiques.
- réseau de pores, qui apparaît normalement dans la structuration de la pâte au cours de l'hydratation du ciment.

II.2.4.3.1. La fissuration

La fissuration qui se produit lors du fonctionnement normal du béton peut être maîtrisée par les règles de calcul et de dimensionnements des ouvrages. Cependant, la fissuration qui résulte des déformations (retraits) ou de pathologie (corrosion des aciers par exemple) est difficile à contrôler et constitue un facteur de dégradation du béton.



Photo II.1 : Fissuration du béton

La fissuration du béton armé est normale lorsqu'elle est maîtrisée, ce qui signifie que les fissures sont d'ouverture limitée. Car en fonctionnement normal, les éléments du béton armé qui travaillent en traction ou en flexion sont fissurés. Les formules de calcul des structures permettent d'estimer l'ouverture et l'espacement des fissures, on dispose aussi de règles fixant la limite admissible d'ouverture des fissures en fonction de l'agressivité du

milieu. L'apparition de fissures non maîtrisées dans le béton peut être due à des déformations intrinsèques ou extrinsèques :

- Les déformations d'origine intrinsèque dues à un phénomène interne à l'élément peuvent être d'origine mécanique, physique ou chimique,
- Les déformations d'origine extrinsèque dues à un phénomène externe (tassements différentiels des appuis ou des fondations, surcharge accidentelle, etc.), à l'élément considéré ; dans ce cas, il serait difficile de prévenir le risque de fissuration.

Les causes générales de la fissuration préjudiciable (dommageable) au béton auxquelles nous intéressons ici sont les causes intrinsèques. Les fissures intrinsèques peuvent apparaître sur le béton frais ou de jeune âge dans ce cas elles sont précoces, ou sur béton durci et dans ce cas elles sont d'origine pathologiques diverses

Le tableau 1 donne une vue d'ensemble des causes de fissuration du béton frais et du béton durci.

II.2.4.3.2. La porosité

La porosité est définie par le rapport entre le volume des pores (V_p) et le volume total comprenant le volume des pores (V_p) et le volume de solide (V_s)

$$P = \frac{V_p}{V_t} = \frac{V_p}{V_p + V_s} \dots\dots\dots (II.1)$$

La durabilité du béton dépend essentiellement de la difficulté qu'ont les agents agressifs à pénétrer dans le réseau poreux du matériau. la porosité est un paramètre déterminant de la durabilité du béton, plus la porosité diminue, plus les propriétés mécaniques augmentent et plus la perméabilité diminue.

II.2.5. Durabilité des fibres végétales

Plusieurs chercheurs (COUTTS,1992.,BEAUDOIN,1982,LEWIS,1979,AZIZ.,1981, CANOVAS et al, 1992.THEODORAKOPOULOS,1995.) Révèlent que la plupart des fibres végétales résistent mal aux alcalis. Le faible teneur, 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 ciments. Ce phénomène se manifeste au niveau de la fibre soit par détérioration soit par diminution de sa résistance à la traction.

A titre d'exemple, la figure II.8. Illustre la chute de la résistance à la traction en fonction du temps d'immersion dans une solution de chaux de pH 11.5 [BEADOIN, 1982]. De

même, les résultats de (BENTUR and AKERS, 1989 et. TOLÈDO FILHO et al, 2000.), montrent la faible tenue de ces fibres aux alcalis. Ils attribuent cette chute dans la résistance à la traction et dans le 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.

Actuellement, l'amélioration de la durabilité des fibres végétales constitue un axe de recherche potentiellement exploité 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.

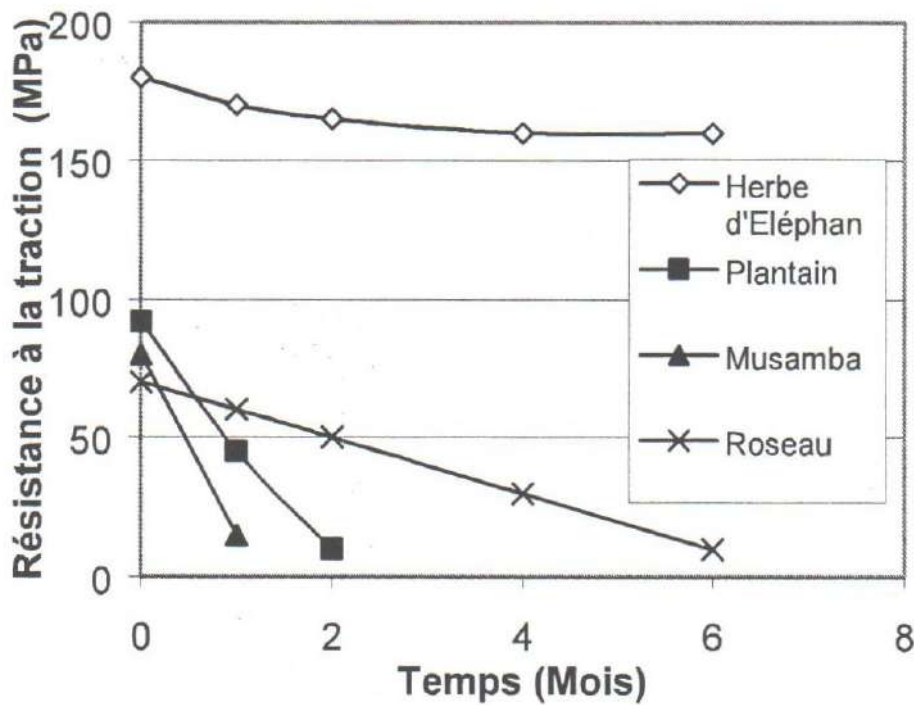


Figure II.8 : Chute de résistance à la traction de quelques fibres végétales en fonction du temps d'immersion dans une solution de chaux de pH 11.5 (LEWIS,G and PREMAM,M 1995.)

II.2.5.1 Durabilité des bétons de fibres

La durabilité à long terme des BF est un problème inévitable qui se pose aux fabricants et aux utilisateurs. Elle dépend de la nature et du traitement des fibres (COUTTS, 1992, BEAUDOIN,1982., LEWIS,1979, KHENFER.,1990, DEBICKI.,1988, AIT AMEUR, 1998., CALMUS,2002, BOUCHEKOUK,1992, AZIZ., 1981., SAVASTANO, 2000.), de la qualité des ciments utilisés (MOKHTARI.F,1991, SAVASTANO,2000] ainsi que du mode de conservation (AZIZ.,1981, AKERS,1989, BLANKENHORN., 2001.)

Plusieurs essais, effectués à long terme sur les résistances à la traction et à la flexion des bétons de fibres d'acier et de polymère, révèlent que ces types de bétons présentent une bonne durabilité dans les milieux secs ou humides. De plus, les fibres d'acier ou de polymère sont chimiquement inertes vis à vis des alcalis du ciment (AKERS,1989, BEAUDOIN,1982, BOUCHEKOUK, 1992.). Cependant, la résistance en traction et au choc des bétons de fibres de verre diminue avec l'âge (BOUDOIN,1982).

Par ailleurs, plusieurs chercheurs (AZIZ., 1981, LEWIS 1979, TOLÈDO FILHO, 2000. TOLÈDO FILHO, 2003, BLANKENHORN, 2001.) ont montrés que les performances mécaniques des bétons de fibres végétales en l'occurrence la résistance à la traction et à la flexion chute à long terme spécialement dans des environnements cycliques (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 la 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 l'élasticité. De ce fait, les fibres deviennent moins résistantes et de plus en plus fragiles. Par la suite le BF deviendra faiblement résistant et moins ductile. A titre d'exemple les figures II.8 (a),(b),(c),(d) montrent des exemples des travaux effectués par (TOLÈDO FILHO et al.), concernant la durabilité des mortiers de fibres de sisal et noix de coco. Nous remarquons sur la figure II.9, la chute de la charge de flexion en fonction d'âge, à long terme (180 et 322 jours).

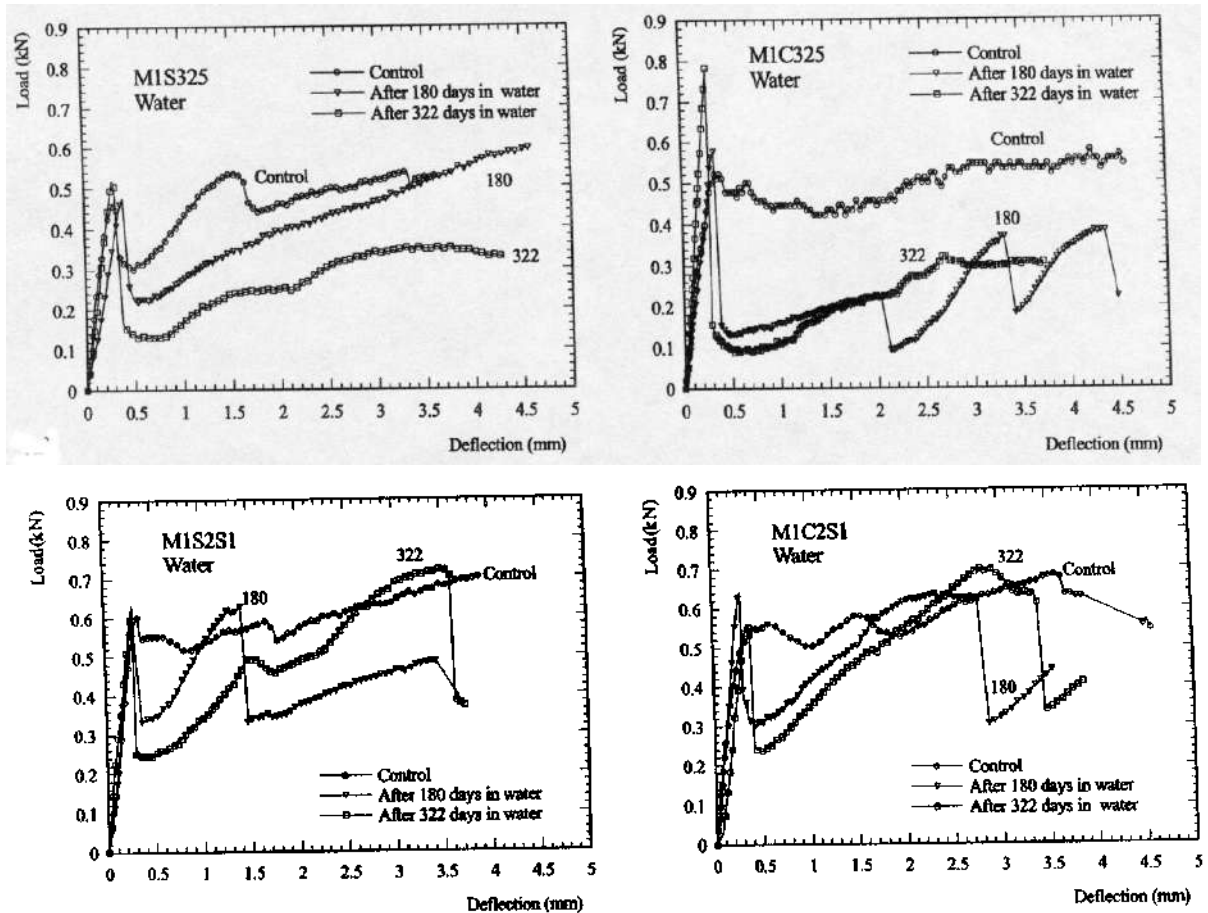


Figure II.9 : Charge-flèche des mortiers de fibres de sisal et noix de coco conservées dans l'eau en fonction de l'âge (TOLÈDO FILHO,2000)

Tandis que sur la figure II.10 nous constatons que le cycle mouillage séchage influe défavorablement sur la résistance à la flexion de ces mortiers de fibres. Toutefois, les mortiers renforcés par les fibres longues et alignées figures II.10 (c) et (d)) ont présenté une durabilité relativement meilleure que celle des mortiers renforcés par les fibres courtes et aléatoires figures II.10 (a) et (b) Cela confirme, que l'alignement des fibres améliore les performances mécaniques des mortiers ou bétons de fibres. Il est à rappeler que le mouillage est effectué dans l'eau à $T = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ et le séchage est réalisé à l'air libre dans le laboratoire, $T = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $HR = 40,1\%$. De même nous constatons que l'augmentation des longueurs des fibres et leur alignement favorisent l'amélioration de la durabilité.

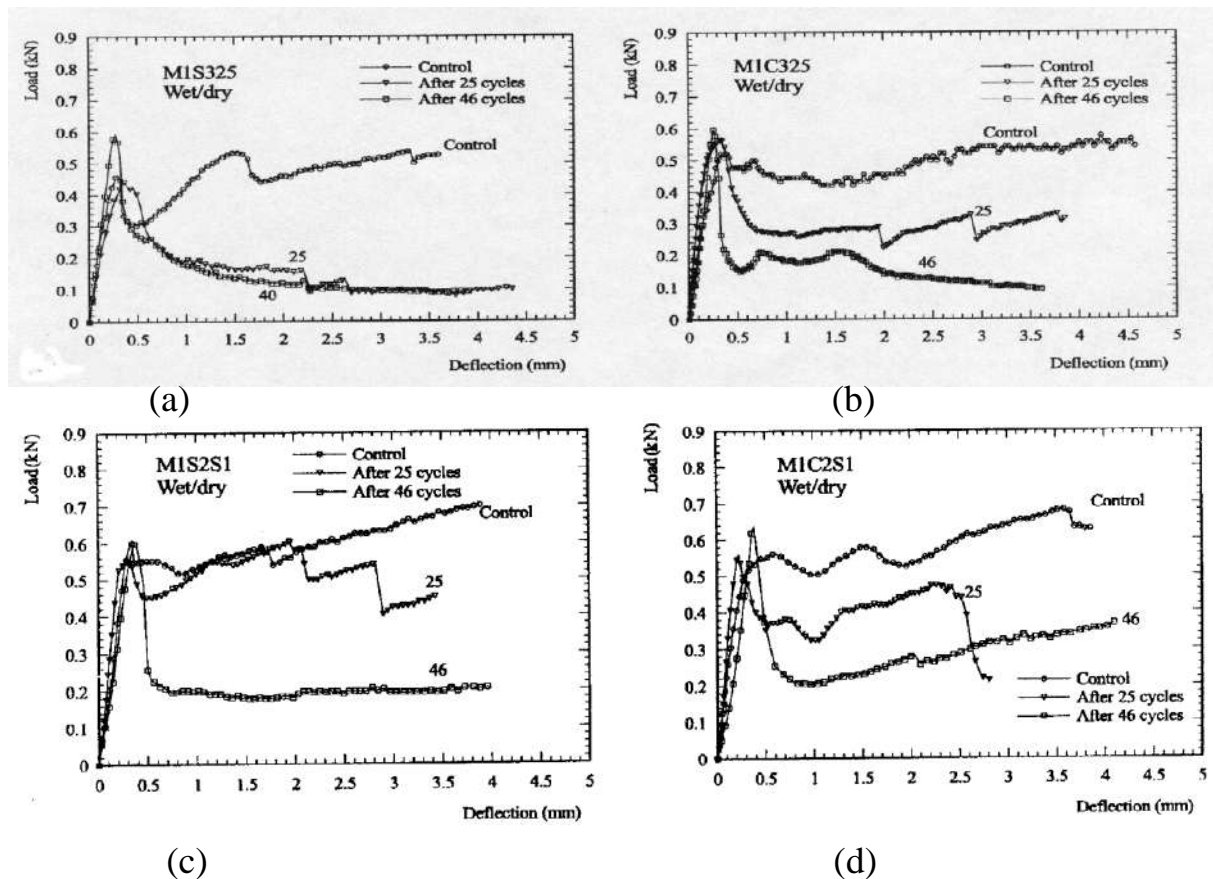


Figure II.10: Effet de la cure cyclique (mouillage-séchage) sur la charge-flèche des mortiers de fibres de sisal et noix de coco (TOLÉDO FILHO, 2000). Il est donc important de prendre ce problème de durabilité en charge et de trouver des solutions techniques pour y remédier. Ainsi, pour l'amélioration de la durabilité des bétons de fibres végétales, plusieurs chercheurs suggèrent un traitement séparé ou simultané des fibres ou de la matrice.

(KHENFER,2000) a étudié la durabilité des ciments autoclaves 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.
2. Pour les éprouvettes conservées dans l'eau, il a remarqué la diminution de module de Yang et de la résistance à la flexion, par contre l'énergie de rupture des éprouvettes a augmentée.

Pour les éprouvettes soumises aux cycles de séchage-mouillage, les propriétés mécaniques diminuent un petit peu à partir des dix premiers cycles.

II.2.5.2. Mécanisme de Dégradation

La dégradation des fibres végétales dans les composés cimentaires se produit parce que l'eau interstitielle alcaline dissout la lignine et l'hémicellulose existant dans les lamelles moyennes des fibres, affaiblissant ainsi le lien entre les différentes cellules de fibre. Un mécanisme additionnel est l'hydrolyse alcaline des molécules de cellulose, qui cause la dégradation de la chaîne moléculaire, donc menant à une réduction du degré de polymérisation et abaisse la résistance à la traction (TOLÈDO, 2000.).

II.2.5.3. Durabilité des Bétons et Mortier de fibres de Palmier Dattier en Climat Chaud et Sec

II.2.5.3.1. Introduction

Dans les matériaux composites a matrice cimentaire, le renfort fibreux doit non seulement améliorer la résistance après fissuration, mais aussi présenter de bonne durabilité dans diverses ambiances.

Nous rappelons que plusieurs chercheurs de la littérature (BOUDOIN, 1999, AZIZ M.A, 1981, COUTTS, 1992.) ont remarqués que les fibres végétales (sisal, noix de coco) résistaient 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 le ciment. Ce phénomène se manifeste au niveau de la fibre soit par détérioration soit par diminution de sa résistance à la traction.

II.2.5.3.2. Durabilité des Bétons de Fibres de Palmier

La durabilité des bétons de fibres de palmier dattier est donnée, dans cette partie, en fonction de l'évolution à long terme de leurs propriétés mécaniques et notamment celles après la première fissuration.

Les résultats des propriétés mécaniques des bétons de fibres de palmier données par (KRIKER, 2005) montrent qu'à long terme les bétons de fibres conservés dans une ambiance chaude et sèche présentent une chute considérable de la résistance à la compression et à la flexion. Par conséquent, ces bétons de fibres ont une faible durabilité pour ce type de cure. Par ailleurs, pour les bétons de fibres conservés dans

l'eau, il a montré que quoiqu'il y a eu une évolution positive en fonction de l'âge de leurs résistances à la compression et à la flexion à la première fissuration, il y a eu en parallèle une régression à long terme dans leurs propriétés de flexion après la première fissuration, par conséquent, une chute dans la durabilité. (KRIKER., 2005) a constaté que la chute de la durabilité des bétons de fibres de palmier conservées dans une cure chaude et sèche est dû au freinage du processus d'hydratation causé par l'évaporation rapide de l'eau ainsi qu'à l'extension des micro-fissures qui augmentent le volume global des vides dans le béton à long terme et provoquent une chute d'adhérence fibres-matrice et par la suite une chute de résistance. Il est donc nécessaire de trouver une solution pratique pour maintenir l'humidité dans le béton surtout durant les premiers jours de conservation.

Par ailleurs, la chute de durabilité des bétons de fibres conservés dans l'eau est dû à la chute de durabilité des fibres de palmier dans le milieu cimentaire alcalin. Cette dernière propriété sera mise en évidence dans ce qui suit.

II.2.5.3.3. Effet du régime de cure sur la résistance des mortiers

D'après les études réalisées par (KRIKER., 2005), dans le but d'améliorer les performances mécaniques des mortiers de fibres dans les climats chauds et secs, les éprouvettes sont conservées initialement dans un environnement humide durant 7 et 14 jours avant de les exposer à l'environnement chaud et sec (étuve). Il a constaté que la prolongation de la durée de cure initiale dans l'eau a effectivement amélioré les résistances à la compression et à la flexion des mortiers par rapport à celle des mortiers conservés directement dans l'étuve. Cette amélioration dans les résistances à la compression et à la flexion par le traitement est attribuée à l'activation thermique du processus d'hydratation.

II.2.5.3.4. Influence du régime de cure sur la durabilité des bétons de fibres en climat chaud et sec

D'après les études réalisées par (KRIKER,2005), les éprouvettes de béton sont conservées durant 14 jours dans la chambre humide avant de les exposer à la condition chaude et sèche. Au fait, il a constaté qu'une cure initiale de 14 jours dans une chambre humide a été plus bénéfique pour l'amélioration des propriétés mécanique des mortiers en climat chaud et sec ; il a remarqué que les bétons conservés pendant 14 jours dans l'eau et le reste dans le climat chaud et sec présente des contraintes qui dépassent légèrement celles des bétons conservés dans l'eau.

II.2.5.3.5. Durabilité des fibres de palmier dattier dans les milieux alcalins

KRIKER a étudié la durabilité des fibres de palmier dattier dans le milieu alcalin cimentaire, il a immergé ces fibres dans deux solutions alcalines à base de chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) et de soude (NaOH), les deux de pH 12.5 ainsi que dans la solution de Lawrence avec un pH de 12.95.

La durabilité des fibres de palmier est exprimée par :

- 1- La variation de leurs propriétés mécaniques à savoir la résistance à la traction et l'élongation à la rupture, en fonction du temps d'immersion, dans les deux solutions alcalines utilisées, respectivement à base de chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) et de soude (NaOH).
- 2- Des observations microscopiques au MEB sur les fibres conservées dans les deux précédentes solutions ainsi que dans la solution de Lawrence.
- 3- De plus, d'autres observations microscopiques sont effectuées sur des échantillons de fibres extraites de l'interface fibre-matrice des bétons. il est à noter que le pH des différentes solutions alcalines est régulièrement ajusté.

Les résultats de l'auteur (KRIKER,2005) montrent que les fibres de palmier utilisées résistent mal aux alcalis. En effet, leur résistance à la traction et leurs élongations à la rupture chutent en fonction du temps d'immersion. Cette diminution est d'autant plus grande que la section initiale des fibres est petite. Par ailleurs, il a constaté que la chute de résistance des fibres immergées dans la solution de chaux est plus grande que celle des fibres immergées dans la solution de soude. Les résultats de (KRIKER., 2005) sont en accord avec celui de. (TOLÈDO ,2000). En fait, à trois mois dans la solution de chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) les fibres de surface de palmier de diamètre 0.8, 0.6 et 0.4 mm conservent respectivement environ 76 %, 48 % et 45 % de leur résistance initiale. Alors qu'elles ne conservent que 69 %, 40 % et moins de 5 % à six mois. Dans la solution de soude (NaOH) les fibres de même diamètres conservent environ 83 %, 55 % et 40 % à trois mois et 76 %, 46 % et 16 % à six mois, respectivement.

En outre, (KRIKER.,2005) a constaté qu'en fonction du temps d'immersion les fibres deviennent de plus en plus dures et fragiles, à cause du phénomène de cristallisation des fibres par la pénétration des alcalis dans leurs pores. Cette constatation a été aussi faite par (TOLÈDO,2000). De plus, une réduction dans la section des fibres en fonction du temps d'immersion dans la solution alcaline était observée.

Ces résultats nous permettent de conclure que les fibres de palmier, comme toutes les fibres végétales présentent une faible durabilité dans les milieux alcalins et par conséquent dans les milieux cimentaires alcalins. Provoquant la chute de durabilité des fibres et par la suite des bétons de ces fibres. D'où la nécessité d'améliorer cette durabilité par l'un des méthodes suivantes.

II.2.6. Amélioration de la Durabilité

La protection de fibres a été envisagée par plusieurs procédés GRAM (GRAM, 1983)

- Soit par traitement de la fibre.
- Soit la modification de la matrice.
- Soit la combinaison de deux procédés.

II.2.6.1. Traitement de la Fibre

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

- Les imprégner d'agents chimiques comme le silicate de sodium, le sulfate de magnésium et d'autre pour constituer une protection contre l'attaque chimique des alcalins.
- Imperméabiliser la fibre avec des produits comme la résine ou la bitume protégeant ainsi la surface de ces dernières contre l'attaque des alcalis libérés par les ciments lors de l'hydratation.
- La combinaison des deux méthodes. Cette méthode a donné les résultats les plus satisfaisants.

On conclusion ces procédés offrent une bonne protection aux fibres mais elles augmentent le coût de leur exploitation (MOKHTARI, F., 1991).

II.2.6.2. Traitement de la Matrice

La modification de la matrice a été tentée par les méthodes suivantes :

- Obturation des pores de la matrice avec différents produits.
- Réduction de son alcalinité par différents procédés.

a. Obturation des pores de la matrice

D'après (GRAM, 1983), la limitation des pores peut se faire par l'augmentation de la proportion des fines ou la quantité de ciment, ou par diminution du rapport E/C pour limiter ainsi le transport de l'eau et donc l'alcalinité.

b. Réduction de l'alcalinité

Les méthodes les plus utilisées pour la réduction de l'alcalinité de la matrice, sont :

- La carbonatation à jeune âge de la matrice par le gaz carbonique. L'objectif de cette technique est de réduire le taux de la chaux libérée lors des premiers jours d'hydratation (TOLÈDO, 2000,2003)

- L'utilisation d'un ciment ayant une faible teneur en alcalis spécialement la chaux libérée lors de la réaction d'hydratation. Ainsi plusieurs chercheurs préconisent le remplacement d'une partie de ciment par l'ajout de laitier, de cendres volantes ou bien des produits pouzzolaniques. Seuls les produits à base de pouzzolane naturelle, tel que la métakaolin, ont contribué à l'amélioration de la durabilité (TOLÈDO,2000,2003, MOKHTARI, F., 1991), C'est le cas de notre étude.

- La combinaison des deux méthodes si citées.

II.2.7. Etat actuel de l'utilisation de la pouzzolane en Algérie

L'utilisation de la pouzzolane naturelle disponible en grandes quantités dans l'Algérie n'est qu'à ses débuts. Dans nos cimenteries, elle est utilisée en faibles quantités (15 % en moyenne) comme ajouts au clinker seulement lors du broyage, alors que les études faites sont concluantes sur lerevalorisation de ce matériau, tant technique qu'économique, préconisent une meilleure utilisation comme substitution au ciment à différentes proportions.

Dans le monde, l'utilisation de la pouzzolane connaît une grande évolution pour sa valorisation et s'applique à l'utiliser dans divers domaines en dehors des cimenteries et des constructions.

II.2.7.1. Intérêts de l'utilisation de la Pouzzolane

a. Intérêt Économique

Il est clair que la pouzzolane naturelle introduite dans la fabrication des ciments comme ajout permet un gain appréciable en clinker selon le pourcentage ajouté, ce qui permet aussi de réduire la dépense d'énergie nécessaire pour le broyage des matières premières servant à sa fabrication. L'utilisation de la pouzzolane facile à extraire, ne nécessite aucun traitement particulier pour son utilisation comme ajout ou en substitution

au ciment, pour cela, son coût de revient ne tient compte que de son extraction, son transport et son broyage.

Son utilisation économique peut être appréciée (SERSALE, R., 1980.) Lors de son emploi en bétons légers, parpaings (la structure alvéolaire de la pouzzolane confère une faible densité au béton pour une qualité mécanique donnée). En couches de base, la pouzzolane constituant le corps de chaussée des routes (la porosité globale de la pouzzolane empêche la formation de lentilles de glaces). En cloisons, la pouzzolane est utilisée comme isolant thermique ...etc.

b. Intérêt Technique

Du point de vue technique, la pouzzolane permet l'obtention d'un ciment composé de qualité et de performance aussi appréciables qu'un ciment Portland sans ajouts et de classe de résistance équivalente à celui-ci. De plus, un ciment composé de pouzzolane, confère aux bétons une meilleure résistance aux agressions chimiques, en plus de leur durabilité grâce au remplissage des pores par les particules fines de la pouzzolane.

Sachant que des études statistiques récentes ont montré que plus de 20% des constructions en Algérie ont subi des dégradations préjudiciables à cause de la mauvaise qualité du béton utilisé (PICHON, H., 1996.), l'intérêt technique réside, dans ce cas, dans l'amélioration des qualités du béton à utiliser dans les constructions ainsi que dans sa durabilité, l'utilisation de la pouzzolane naturelle en tant qu'addition améliorant ces caractéristiques serait donc justifiée.

II.2.8. Conclusion

Le matériau composite BF est un matériau relativement nouveau dans le domaine de la construction. C'est aux années 1900 qu'a eu lieu la première utilisation du béton de fibres d'amiante ; les BF possèdent plusieurs avantages tels qu'une bonne résistance à la fissuration et la traction, Par ailleurs, sa résistance à la compression est généralement inférieure à celle du béton classique. Mais, sa résistance à la compression peut être légèrement améliorée par une bonne orientation des fibres dans la matrice.

Les propriétés mécaniques des matériaux composites sont influencées principalement par l'adhérence entre la matrice et les fibres. Si de nombreux articles ont pu montrer que les fibres végétales possédaient des propriétés mécaniques comparables aux fibres de verre traditionnellement utilisées, en revanche, les propriétés des matériaux composites les intégrant restent inférieures. De nombreuses études ont donc porté sur l'amélioration de ces propriétés, notamment par le biais de traitement physique ou chimique des fibres.

Par ailleurs, si la durabilité des BF de polymère et d'acier est acceptable, celles des BF de verre ou végétale ne l'est pas. Spécialement les fibres végétales, sont fortement affectées par les alcalis de la matrice, en conséquence la résistance du composite BF chute avec le temps. Les recherches sont en cours pour améliorer la durabilité des fibres végétales vis à vis des alcalis par le traitement séparé ou simultané de la surface des fibres et de la matrice.

Il est possible d'améliorer la durabilité des bétons de fibres végétales par l'ajout des produits pouzzolaniques.

De ce fait, dans la suite de nos travaux nous allons traiter notre matrice cimentaire par utilisation d'une pouzzolane naturelle dans le but d'améliorer la durabilité.

La démarche suivie dans notre recherche s'inscrit dans un cadre de valorisation des fibres et d'améliorer leur durabilité afin de les intégrer dans un matériau de construction.

Chapitre III

***CARACTERISATION
DES
MATERIAUX
UTILISES***

Introduction

Dans ce chapitre, nous étudions les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition des mortiers classiques et de fibres à savoir : la masse volumique, la granulométrie, la propreté, la composition chimique et minéralogique ainsi que d'autres propriétés physiques.

III.1. Matériaux Utilisés

III.1.1. Ciment

Le ciment utilisé, est un ciment CPJ-CEM II/A 32.5, de provenance de la cimenterie de AIN TOUTA.

Le tableau III.1 donne la composition en % massique du ciment utilisé

Tableau III.1 : Constituants Principaux et Secondaires des Ciments (% en masse)
(A.T.H.I.L, 1998, CIIC, 2000)

Désignation	Notation	Constituants Principaux			Constituants secondaires
		Clinker (K)	Laitier (S)	Autres Constituants D, Z, V, W, T, L	
Ciment Portland composé	CPJ-CEM II/A32.5	80-94		6-20	0-5

Les résultats des essais de la masse volumique apparente et absolue du ciment utilisé sont :

- La masse volumique apparente $\rho_a = 2120 \text{ kg/m}^3$.
- La masse volumique absolue $\rho_{ab} = 3034 \text{ kg/m}^3$.

1- Surface Spécifique

Selon la norme EN-196-6, la surface spécifique des ciments est mesurée par comparaison avec un ciment de référence dont la surface spécifique est connue. Il s'agit de faire passer un volume d'air connu à travers une poudre de ciment, plus la surface spécifique de cette poudre est importante plus le temps mis par l'air, pour traverser la poudre, est long. Dans les conditions normales la surface spécifique est proportionnelle à \sqrt{t} .

Le SSB du ciment utilisé égale 3859 cm²/g.

2- Temps de Prise

Il constitue une indication précieuse pour la mise en œuvre des mortiers et des bétons normaux. Il varie en fonction du ciment (à prise lente ou rapide), de la finesse de mouture qui favorise l'hydratation et la température qui influe sur la vitesse des réactions chimiques et accélère la prise ; il est généralement supérieur à 90 mn pour les ciments courants à une température de 20°C. L'essai de prise est réalisé par l'appareil de Vicat. Selon la norme NFP15-431.

3- Caractéristiques Chimiques

L'analyse chimique du ciment utilisé est présentée dans le tableau III-2. Cette analyse chimique a été réalisée par le laboratoire (LTP Sud) de Ghardaïa

Tableau III.2 : pourcentage des composants chimiques essentiels du ciment.

Élément	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	PF	Total
%	21.90	5.73	60.18	1.85	3.13	2.29	0.19	0.83	4.07	97.84

On remarque que le ciment utilisé contient des pourcentages appréciables en chaux et en silice.

Pourcentage des Alcalis = Na₂O + 0.658 K₂O = 0.736 > 0.6 %. (III.1)

Mais il n'y a pas de risque de réaction alcalis-granulats car ces derniers ne sont pas des calcaires dolomitiques (GORISSE.F,1978).

4- Composition Minéralogique du Clinker

Selon les normes NFP15-301 [NF, 1990], le clinker est obtenu par la cuisson des matières premières constitué principalement de calcaire et d'argile, la composition chimique du clinker entrant dans la composition du ciment utilisé est donnée par le tableau II.3

Tableau II.3: Composition minéralogique du clinker

Elément	3CaO, SiO ₂ (C ₃ S)	2CaO, SiO ₂ (C ₂ S)	3CaO, Al ₂ O ₃ (C ₃ A)	3CaO, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ (C ₄ AF)
Moyenne %	55.05 ± 2.27	19.97 ± 1.85	9.44 ± 0.27	9.27 ± 0.24

5- Indice d'hydraulicité

L'indice d'hydraulicité ou l'indice de vicat, est le rapport de la fraction acide du ciment à la fraction basique

$$I = (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{CaO} + \text{MgO}) = 0.44 \dots\dots\dots (III.2)$$

Pour le ciment utilisé $I = 0.44 < 0.5$ notre ciment est dit portland basique.

6- Propriétés Physiques et Mécaniques du Ciment

La résistance mécanique minimale à la compression à 28j est de 30 MPa

Le tableau III.4 Résume les principales propriétés physiques et mécaniques du ciment

Tableau III.4 : Les principales propriétés physiques

Propriété	Masse volumique (g/cm ³)	Surface spécifique Blaine (cm ² /g)	Début de prise (min)	Fin de prise (min)	Résistance minimale à la compression à 28j (MPa)
CPJ-CEMII/A	3.1	3859	128	184	30

III.1.2. Sable

Généralités

Pour notre étude nous avons utilisé deux types de sable :

- a. **Sable de construction** : est un sable moyen de couleur jaunâtre, de provenance de la région de Hassi-Sayah à 30 km au nord de Ouargla.
- b. **Sable de dunes** : le sable de dunes utilisé c'est le sable de la région de AIN -BAYDA Ouargla.

Pour les essais physiques sur le sable nous avons utilisé trois échantillons pour chaque type d'essai.

1- Analyse Granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Cet essai est défini par la norme (DREUX.G,1998, EN 196-1, 1994).

L'analyse granulométrique est effectuée après l'élimination des particules supérieures à 5 mm et inférieures à 0.02 mm avec le passage de sable sur les tamis (5 mm et 0.02 mm).

A-Sable de construction :

Les résultats d'analyse granulométrique du sable utilisé sont représentés dans le tableau III.5 et la Figure III.1.

Tableau III.5 : Résultats d'analyse granulométrique du sable de construction (SC)

Ouverture des Tamis en (mm)	Refus partiel en (g)	Refus cumulé en (g)	Refus cumulé en (%)	Tamisât en (%)
5.000	0.00	0.00	0.00	100
2.500	40	40	2.67	97.33
1.250	102	142	9.46	90.54
0.630	472	614	40.93	59.07
0.315	590	1204	80.27	19.73
0.160	210	1405	93.66	6.34
0.080	93	1498	99.86	0.14
Fond	2	1500	100	0.00

Le module de finesse MF est défini par :

$$M_f = \sum R_c / 100 \dots \dots \dots (III.4)$$

$\sum R_c$: La somme des pourcentages des refus cumulés ramené à l'unité pour les tamis d'ouverture (0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5) en mm.

Dans notre cas : $M_f = (2.67 + 9.46 + 40.93 + 80.27 + 93.66) / 100 = 2.26$ donc il s'agit d'un sable moyen.

Nous pouvons dire que le sable est moyen à granulométrie étalée et qui s'inscrit dans le fuseau recommandé pour les bétons et mortiers ordinaires (DUPAIN.R,2000).

Tableau III.6 : Caractéristiques du sable de construction utilisé

Caractéristique	Module de finesse	Densité apparente	Densité absolue	Equivalent de sable
Valeur	2.26	1.59	2.5	71 %

B-sable de dunes :

Tableau III.7: Analyse granulométrique du sable de dunes (SD).

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
5	0	0	0	100
2.5	0	0	0	100
1.25	0	0	0	100
0.63	6.7	6.7	0.55	99.45
0.315	284.2	290.7	24.22	75.78
0.16	694.1	984.8	82.06	17.94
0.08	195.2	1180	98.33	1.67
Fond	16.4	1196.4	99.7	0.3
Module de finesse	1.06			

$M_f=1.06$ c'est un sable fin

Nous pouvons dire que le sable est fin et qui est en majorité en d’hors du fuseau recommandé.

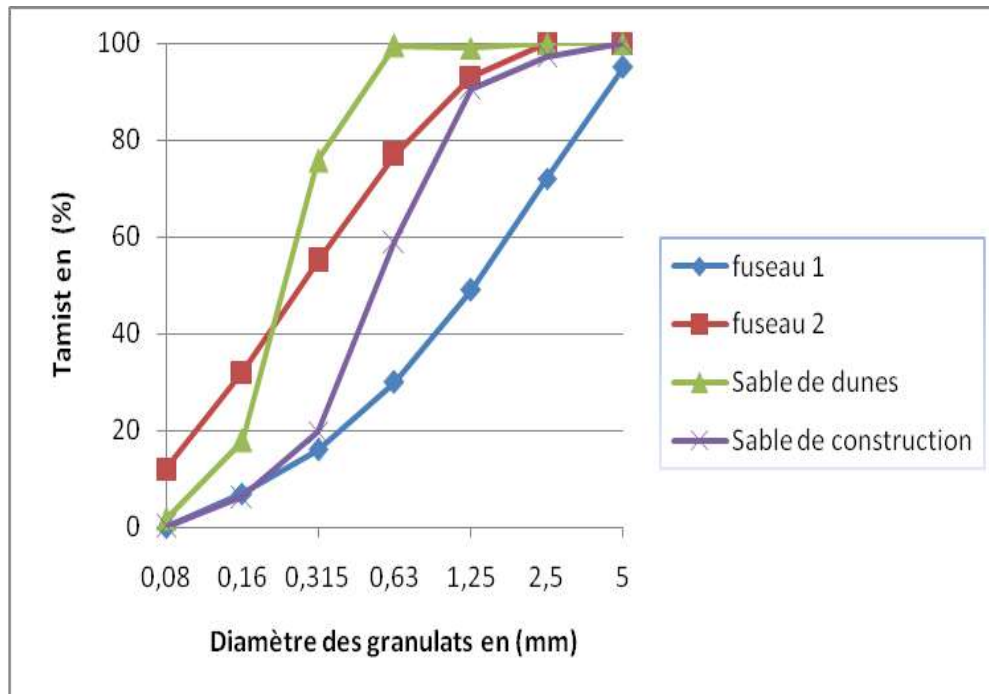


Figure III.1 : Analyse granulométrique de sable de construction et sable de dunes

2- Masse volumique du sable :

2-a. Masse volumique absolue

C’est la masse d’un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains.

A l’aide d’une éprouvette graduée on peut facilement déterminer cette valeur.

2-b. Masse volumique apparente

C’est la masse d’un corps par unité de volume total y compris les vides entre les grains le constituant

3- Compacité et porosité

La compacité est le rapport de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue :

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \dots \dots \dots (III-5)$$

La porosité est le complément à l'unité de la compacité :

$$P\% = 100 - C\% \dots\dots\dots(III.6)$$

Les résultats des essais effectués sont regroupés dans le tableau (III.8)

Tableau III.8 : Résultats de masses volumiques, compacité, porosité

	Masse volumique Apparent (g/cm ³)	Masse volumique Absolue (g/cm ³)	Compacité(%)	Porosité (%))
Sable de Dune	1.521	2.640	84.1	15.9
Sable de construction	1.590	2.702	58.8	41.2

4- Equivalent de sable

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent (LACROIX.R, 1982).

4-1. L'échantillonnage :

L'échantillon pour laboratoire doit être préparé suivant les prescriptions de (la norme P 18-553). Sa masse doit être telle que la fraction passant au tamis de 5 mm pèse 500 à 700 g. qqSi l'échantillon pour laboratoire n'est pas humide, l'humidifier afin d'éviter les pertes de fines et la ségrégation.

L'essai s'effectue sur le sable à sa teneur en eau naturelle, la masse sèche de l'échantillon pour essai doit être de 120 g ± 1

4-2. Principe de l'essai

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du sable à étudier. Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins. (Voir annexe)

$$E.S.V = \frac{h_1}{h_2} 100 \dots\dots\dots(III-7)$$

Hauteur h_2 : sable propre + éléments fins,

Hauteur h_1 : sable propre seulement (visuel).

Hauteur h'_1 : sable propre seulement (avec piston).

L'essai permet de déterminer le degré de propreté du sable

La hauteur du dépôt de sable h_1 peut se mesurer à l'aide d'un piston lesté que l'on dépose doucement sur le sable après avoir la hauteur h_2 du flocculat.

Equivalent de sable avec piston :

$$E.S.P = \frac{h'_1}{h_2} \cdot 100 \dots\dots\dots (III-8)$$

Tableau III.9 : Nature et qualité du sable (DUPAIN.R, 2000)

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

Tableau III.10: Résultats d'essai de l'équivalent de sable

sable de construction	E.S.V %	74
	E.S.P %	72.55
sable de dune	E. S.V %	83.67
	E.S.P %	82.20

D'après les résultats de l'essai d'équivalent de sable

- Le sable de construction utilisée est un sable légèrement argileux de propriété admissible pour les bétons de qualité courante quand on ne craint particulièrement pas le retrait.
- Le sable de dune utilisée est un sable propre l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

II.1.3. Sable de dunes broyé :

Nous avons utilisé un sable de dunes finement broyé de la région AIN BAYDA d'Ouargla. Après que les grains de silice ont été réduits à la taille voulue, ils peuvent être soumis à divers procédés de valorisation visant à éliminer les impuretés qui sont généralement composées d'argile, de carbonates et de minéraux contenant du ferromanganèse.

Le broyage est effectué à l'aide d'un broyeur conventionnel (voire Annexe) à boulets « vase en céramique et enclore des boulets céramiques qui broient la matière en se heurtant et en se frottant dans un mouvement circulaire horizontal après en procède au tamisage.

Propriété physique du sable de dunes broyé :

Masse volumique apparente = 1.594 g/cm^3

Masse volumique absolue = 2.656 g/cm^3

D'après utilisation de l'appareil Perméabilimètre de Blaine (BSA1) on doit déterminer :

Surface spécifique Blaine (SSB) = $3202 \text{ cm}^2/\text{g}$. (DUPAIN.R,2000).

II.1.4. Eau de gâchage :

Toutes les eaux ne peuvent pas être utilisées pour gâcher du béton, la qualité de l'eau de gâchage peut avoir une influence sur les propriétés du béton, notamment les propriétés physiques et mécaniques (prise et résistance), les propriétés esthétiques (taches, efflorescences) et la durabilité (corrosion des armatures, stabilité du béton). parce qu'elles contiennent, dans certains cas, un excès d'impuretés qui détériore ,ces impuretés, éventuellement contenues dans l'eau de gâchage, sont soit des composés chimiques qui peuvent être actifs vis-à-vis du ciment, des Agrégats ou des armatures, soit des particules en suspension qui, du fait de leur quantité ou de leur qualité, sont indésirables.

Lors de l'appréciation de l'aptitude à l'emploi d'une eau non connue pour la production d'un béton, il y a lieu de considérer autant la composition de l'eau que l'application du béton produit.

L'eau de gâchage utilisée à la confection des bétons devra satisfaire aux conditions fixées par la norme NF P 18 -303 « Eau de gâchage pour béton de construction ».

L'eau employée est une eau potable du réseau de distribution du robinet fournie au laboratoire de génie civil de l'université d'Ouargla.

L'analyse chimique de l'eau a été effectuée au laboratoire traitement des eaux de l'université d'Ouargla, les résultats sont présentés dans le tableau suivant

Tableau III.11 : Composition chimique de l'eau en mg/l.

Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	pH	salinité
242	125	31	536	755	14.5	755	124	7.75	2799

On remarque que l'eau ne contient pas d'éléments nocifs en pourcentage important et à une faible salinité (GORISSE.F,1978).

II.1.5. Les adjuvants

L'adjuvant utilisé est un Super-Plastifiant- SP fourni par GRANITEX de Oued – Semar Alger. C'est une solution liquide se diluant facilement dans l'eau de gâchage de type mélanine (DUPAIN.R,2000), utilisé pour améliorer l'ouvrabilité à rapport E/C constant, de diminuer la ségrégation, de réduire le dosage en ciment d'éviter la floculation des grains

fins issus du ciment et de la pouzzolane, d'augmenter les résistances mécaniques, l'imperméabilité et la durabilité du béton.

Selon la norme NF P18-103-335-336 (DUPAIN.R,2000), il doit être utilisé à une dose de 0.5% à 5 % du poids du liant.

Mais les fiches techniques du fabricant de l'adjuvant recommande que le pourcentage utilisé est de 0.5 % à 2.5 % du poids du liant.

Le super-plastifiant utilisé présente les caractéristiques suivantes Tableau III.12

Tableau III.12 : Les caractéristiques du super-plastifiant utilisé

Forme	liquide
Couleur	marron
Densité	1.18
pH	7-8
Teneur en chlore	< 1g/l

II.1.6. Les Fibres

Les fibres utilisées dans cette étude sont des fibres végétales de palmier dattier de dokar (palmier mal).

(KRIKER.,2005) après ces études effectuées sur quatre types de fibre de surface de palmier dattier (les fibres de dokar, deglette nour, degla bida et d'elghers), il a constaté que les fibres de dokar donnent le meilleur résultat de point de vue résistance à la traction. C'est pour cette raison notre choix est porté pour les fibres de dokar (palmier male).



Figure III.2 : Vue microscopique longitudinale typique des FSPD au MEB (KRIKER.,2005)

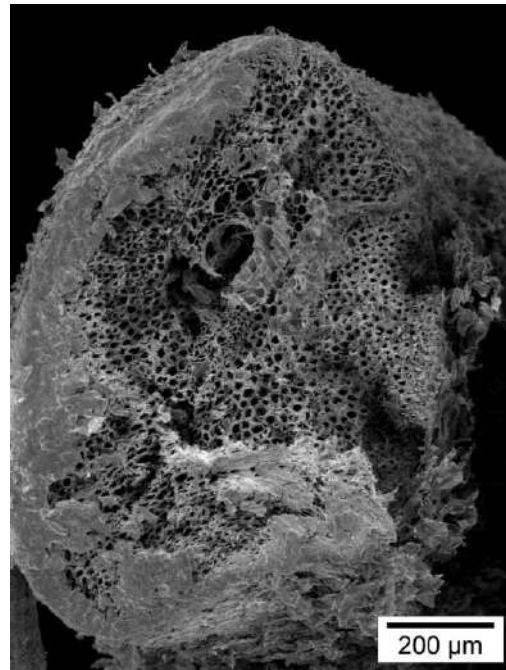


Figure III.3 : Coupe Transversale des fibres de Dokar au MEB (KRIKER.,2005)

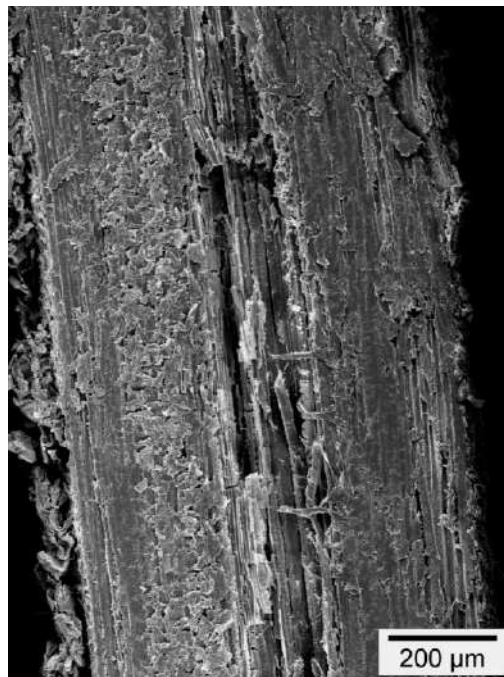


Figure III.4 : Coupe longitudinale typique des fibres de Dokar au MEB (KRIKER.,2005)

II.1.6.1. Préparation des fibres :

Les plaquettes des fibres de palmier dattier sont séparées en fibres individuelles dans l'eau, pour faciliter leur défibrage. Les fibres individuelles sont bien lavées à l'eau mélangée avec quelques gouttes de l'eau de javel pour enlever les impuretés et la couche de lignine qui entoure les fibres et qui gêne l'adhérence. Ensuite, elles sont coupées à des longueurs voulues (40 mm pour notre travail).

II.1.6.2. Caractéristiques des Fibres de Palmier Dattier

Les essais effectués sur les fibres par (KRIKER.,2005, ABBANI,2003) ont permis de caractériser les fibres de palmier dattier de Ouargla comme suite dans le tableau II.13 :

Tableau III.13 : Les caractéristiques physiques et mécaniques des fibres utilisées

Masse volumique apparente	$\rho_a = 512.21 - 1088.81 \text{ Kg/m}^3$		
Masse volumique absolue	$\rho_{ab} = 1300 - 1450 \text{ Kg/m}^3$		
Résistance à la traction [MPa]	L=100 mm	L=60 mm	L=20 mm
	170 \pm 40	240 \pm 30	290 \pm 20
Déformation à la rupture	$\varepsilon = 0.232$ (fibre de diamètre 0.8 mm)		
Taux d'humidité	w = 9.5 - 10.5 %		
Taux d'absorption en eau (après 24 H)	TA = 96.83 - 202.64 %		
Diamètre (des fibres utilisées)	d = varié entre 0.1 - 1 mm		

II.1.6.3. Compositions minéralogique des Fibres de Palmier Dattier

L'analyse spectrochimique de la poudre des fibres après calcination à 400 °C a donnée les éléments suivants :

Tableau III.14 : Analyse minéralogique de la poudre des fibres de Dokar calcinées à 400 °C

Eléments	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	PF
%	48.04	6.12	2.51	0.05	4.88	14.21	1.81	2.80	0.42	0.45	18.08

Avec PF : Perte au Feu.

Nous constatons que les fibres utilisées contiennent un taux remarquable de la silice (SiO_2) et de la chaux (CaO).

II.1.6.4. Analyse des Matières Organiques

L'Analyse des matières organiques des fibres de dokar, au laboratoire de biologie de l'université de Ouargla, a donné sur le tableau III.15 les proportions de cellulose, d'hémicellulose et de lignine. Nous constatons que ces fibres présentent des taux en cellulose et hémicellulose relativement faibles par rapport à celui des fibres de sisal. Par contre, les taux de cellulose et de lignine se rapprochent de celui des fibres de coco donné par la littérature (SAVASTANO.1999, MOKHTARIF,1991). Rappelons que la cellulose est l'élément essentiel du point de vue résistance.

Tableau III.15 : les principaux constituants organiques des fibres de dokar

Matière	Cendre	Cellulose	Hémicellulose	Lignine
Proportion (%)	1.2 ± 0.3	43 ± 2	8 ± 2	35 ± 5

Nous constatons que les fibres contiennent un taux remarquable de SiO_2 et de CaO . En parallèle, l'analyse des spectres DRX des cendres de trois types de fibres à savoir le Dokar, Elghers et D-Nour au centre de DRX à l'université de Lyon 1 (KRIKER.A,2005), montre que la composition minéralogique de ces trois types de fibres est plus ou moins différente. Cela est probablement dû à la différence des métabolismes de chaque fibre, sachant que les trois espèces de fibres sont plantées et se sont développées dans les mêmes conditions climatiques. Cependant, nous remarquons que toutes les trois contiennent des pourcentages relativement élevés en SiO_2 et en CaCO_3 (calcite). Le taux important de silice est sûrement dû à la pénétration de sable dans la structure et les pores des fibres, à cause des vents de sable dans des régions sahariennes.

II.1.7. La Pouzzolane

La pouzzolane utilisée est une pouzzolane naturelle de la région de TEBESSA. Cette pouzzolane est fournie sous forme de roches concassées de type pierre ponce et scorie de diamètres variant de 5 à 50 mm.

Pour pouvoir la substituer au ciment CPJ, nous avons d'abord procédé à son étuvage à 105°C afin d'éliminer toute éventuelle humidité et faciliter son broyage, nous

l'avons ensuite broyée puis passée au tamisage. Le tamisât de 0.2 mm jusqu'à une finesse de 4100 g/cm² est récupéré et utilisé en substitution au ciment à différentes proportions. Un ensemble d'essais d'identification de la pouzzolane a été fourni par la cimenterie AIN TOUTA dont les résultats sont donnés dans ce qui suit.

La composition chimique moyenne de pouzzolane naturelle, selon les analyses est donnée par le tableau III.16.

Tableau III.16: Composition chimique de la pouzzolane utilisée

Éléments	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O ₃	K ₂ O	Cl-	PF
Pourcentage	46.46	17.45	9.03	3.88	8.36	1.03	4.32	1.40	0.03	4.85

La composition minéralogique de la pouzzolane est donnée par le tableau III.17 :

Tableau III.17 : Analyse minéralogique de la pouzzolane naturelle

Minéraux	Pourcentage
Feldspath plagioclase (Anorthite :CaOAl ₂ O ₃ 2SiO ₂)	40
Pyroxene (Augite: (Mg, Fe) ₂ SiO ₆)	15
Verre volcanique	14
Analcime (Zéolithe)	12
Chlorite : (6Mg ₅ AlSi ₃ O ₁₀) (OH)	6
Hématite : Fe ₂ O ₃ Magnétite : Fe ₂ O ₃ FeO Biotite : 2K (Fe,Mg) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH)	8
Autres minéraux : basaltes, calcites, Dolomites, argiles, etc.	5

Les paramètres physiques moyens de cette pouzzolane sont donnés par le tableau III.18

Tableau III.18 : Les propriétés physiques de la pouzzolane

Masse volumique absolue (g / cm ³)	2.70
Absorption en eau (%)	19.46
Surface spécifique Blaine (cm ² /g)	4100

II.2. Conclusion

Les conclusions qu'on peut tirer de la caractérisation des matériaux utilisés sont :

- Le ciment utilisé est un CPJ CEMII A/ 32.5 de densité spécifique inférieur à la moyenne habituelle des ciments de 2.9, une finesse acceptée et une prise satisfaisante à la spécification des ciments courants, avec un taux d'alcalis $>$ à 0.60 %.
- Le sable de construction utilisé est un sable moyen de couleur jaunâtre de la région de Hassi-Sayah, siliceux, peu argileux, d'un taux d'absorption faible, à granulométrie étalée et grossier, et qui est inscrit dans le fuseau recommandé pour les bétons ordinaires.
- Le sable de dunes est un sable propre de la région de AIN –BAYDA OUARGLA, a granulométrie séré et fin et qui est inscrit en partie en d'hors du fuseau recommandé
- L'eau de gâchage est celle de robinet du laboratoire de faible salinité.
- L'adjuvant utilisé est un super plastifiant de type MEDAPLAST-SP de pH neutre et de teneur en chlore faible et qui a pour effet l'amélioration de l'ouvrabilité à un rapport E/C constant.
- Les fibres utilisées sont des fibres de surface de palmier dattier de Ouargla (type Dokar) de masse volumique apparente faible et qui ont un taux d'absorption d'eau assez élevé qui dépasse les 200 %, avec une résistance à la traction moyenne de 290 MPa à L=20 mm.
- Nous avons utilisé une pouzzolane naturelle d'origine volcanique extraite du gisement de la région de TEBESSA.

Chapitre VI

Etude

Expérimentale

Introduction :

Le mortier de fibres végétales est un matériau composite qui se compose de mortier et les fibres végétales. Les qualités fondamentales du mortier de fibres sont largement marquées par divers facteurs tel que :

La composition du mortier classique, le dosage et les dimensions des fibres, le malaxage, la maniabilité, la mise en place, la vibration, les dimensions de l'échantillon, la qualité de liant (ciment seul, ciment avec sable de dune broyé) ainsi que le mode et la vitesse de chargement.

Dans ce chapitre, seront présenter les modes expérimentaux suivis ainsi par les résultats des essais effectués sur ces mortiers, à savoir l'essai de maniabilité, l'essai de résistance à la compression, à la traction par flexion. Les modes opératoires des différents essais réalisés dans la partie expérimentale, dans le but d'une bonne interprétation des différents résultats expérimentaux sur les mortiers classiques et de fibres.

IV.I. Propriétés Mécaniques des Fibres de Palmier Dattier

Les propriétés mécaniques des mortiers de fibres végétales sont largement affectées par les propriétés des fibres, les dosages et les longueurs des fibres, ainsi que la composition et la qualité des phases constituantes et enfin les modes et les régimes de conservation.

Nous allons en première étape examiner les propriétés mécaniques des fibres de surface de palmier dattier de différents diamètres à savoir les fibres de diamètre $d = 0,6$ mm, $d = 0,8$ mm et $d = 1$ mm, en suite les propriétés des mortiers de fibres.

IV.I.1. Résistance à la Traction des Fibres de Palmier Dattier

La principale propriété mécanique des fibres végétales à savoir la résistance à la traction est déterminée selon une norme inspirée de la norme NF EN ISO 5079 dans les conditions climatiques $T = 30 \pm 2^\circ\text{C}$ et $\text{HR} = 65 \pm 5 \%$.

La machine de traction universelle utilisée est de type KARL FRANK GMBH photos voire (Annexe). Cette machine fonctionne à un déplacement contrôlé, avec une vitesse de déplacement de 2.5 mm/mn. La longueur de l'échantillon de fibre est de 100 mm.

Les fibres sont testées à l'état naturel sec, Rappelons que la résistance à la traction des fibres est donnée par l'équation IV.1 suivantes :

$$\sigma_{ft} = \frac{F}{S} \dots\dots\dots(IV.1)$$

Avec - σ_{ft} : Contrainte de traction des fibres.

- F : Charge maximale enregistrée par la machine de traction.

- S : Section moyenne de fibre.

Remarque : Comme la fibre de palmier n'a pas le même diamètre sur toute sa longueur ; le diamètre pris dans le calcul de la section moyenne des fibres est le diamètre moyen de trois mesures au minimum à l'aide d'un pied à coulisse digital.

IV.1.2. Résultats d'essai de Traction sur Fibres à l'état Naturel

Le tableau III-1 présente les résultats d'essai de traction simple sur les fibres de palmier dattier de diamètres 0.6 ; 0.8 et 1mm. Six échantillons de fibres sont utilisés pour chaque diamètre.

Tableau IV-1 : Résultats d'essai de traction simple sur échantillons de fibres de 100 mm de longueur

Diamètre de fibre (mm)	Charge de rupture moyenne en N	Résistance de rupture en [MPa]
1	132.33 ± 2.51	168.78 ± 3.18
0.8	70.66 ± 2.08	141 ± 4.16
0.6	35 ± 1	123.67 ± 3.53

IV.II. Formulation de mortier normal (EN 196-1):

La méthode de composition du mortier classique utilisée est celle donnée par la norme EN-196-1(DUPAIN.R,2000). La composition massique du mortier classique utilisée est comme suite :

Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques d'un ciment et notamment sa résistance. Ce mortier est réalisé conformément à la norme ci dessus.

Dans notre cas on a utilisé pour le mortier :

- 03 Parties de sable.
- 01 Partie de ciment.

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

IV.II.1. -Essai au maniabilimètre B (NF P 18-452 et 15- 437) :

La maniabilité du mortier frais est déterminée à l'aide d'appareil de maniabilimètre B, il consiste à un boîtier parallélépipédique métallique à des dimensions connus, posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible.

Dans cette essai la consistance est caractérisé par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration.

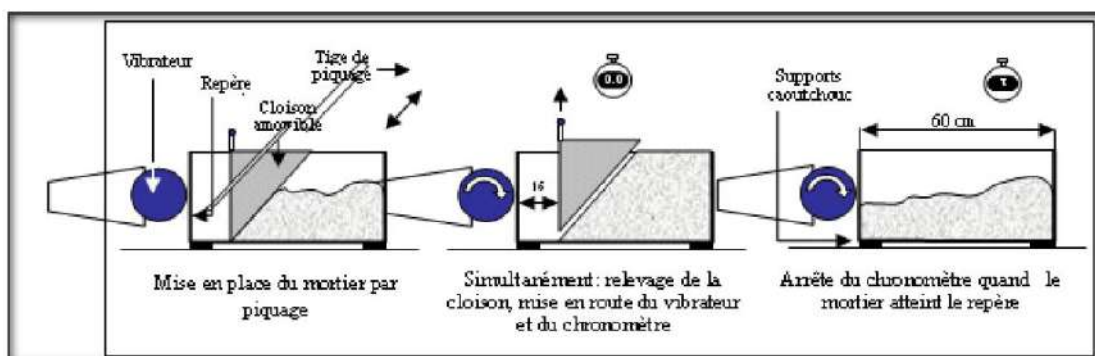


Figure IV-1 : Principe de fonctionnement du maniabilimètre B

Tableau IV-2 : Classe de consistance selon la durée d'écoulement.

Classe de consistance	Durée (s)
Ferme	$t \geq 40$
Plastique	$20 < t \leq 30$
Très plastique	$10 < t \leq 20$
Fluide	$t \leq 10$

Les résultats représentent la moyenne de trois échantillons pour chaque essai.

Selon la norme ENV206 (DUPAIN.R,2000) un mortier normal est celui ayant un temps de maniabilité 21 ± 5 s ce qui correspond à un rapport E/C = 0.45.

Le mortier classique choisi sera un mortier composé comme suite :

- 03 Parties de sable.
- 1 Partie de ciment.
- 0.45 Partie d'eau.

IV.II.2. Composition du Mortier de Fibres

Pour la composition de mortier de fibres, nous avons utilisé la même démarche que celle du mortier classique. De ce fait la quantité de ciment et l'eau sont celles d'un mortier classique. Pour la quantité de sable, nous avons substitué le volume de fibre du volume de sable de sorte que le volume de fibre plus le volume du sable reste constant et égale à celui d'un mortier classique.

Nous avons travaillé avec une ouvrabilité constante au maniabilimètre test, avec un temps d'écoulement de 20 ± 5 s (DUPAIN.R,2000).

Nous avons opté pour l'essai de maniabilité, pour des raisons pratiques. En effet, à cause de vibration électrique qu'offre l'essai de maniabilité. La mesure de l'ouvrabilité par

l'essai de maniabilité est simple. En effet, l'incorporation des fibres rend l'écoulement de mortier de plus en plus difficile.

Pour pouvoir travailler avec une ouvrabilité constante, nous avons ajouté un super-plastifiant avec différents pourcentages. Le dosage en masse de fibre est de 0,4 % et 0,6 % la longueur de fibres utilisé à savoir 40 mm.

Tableau IV-3 : les résultats de l'essai de maniabilimètre

Désignation	Super plastifiant	Temps moyen de maniabilité (s)
Mortier classique	Sans	21 ± 3
Mortier de fibres 0.4 % F	1.5	27
	2	25
	2.5	21
Mortier de fibres 0.6 % F	1.5	29.4
	2	27
	2.5	23.4

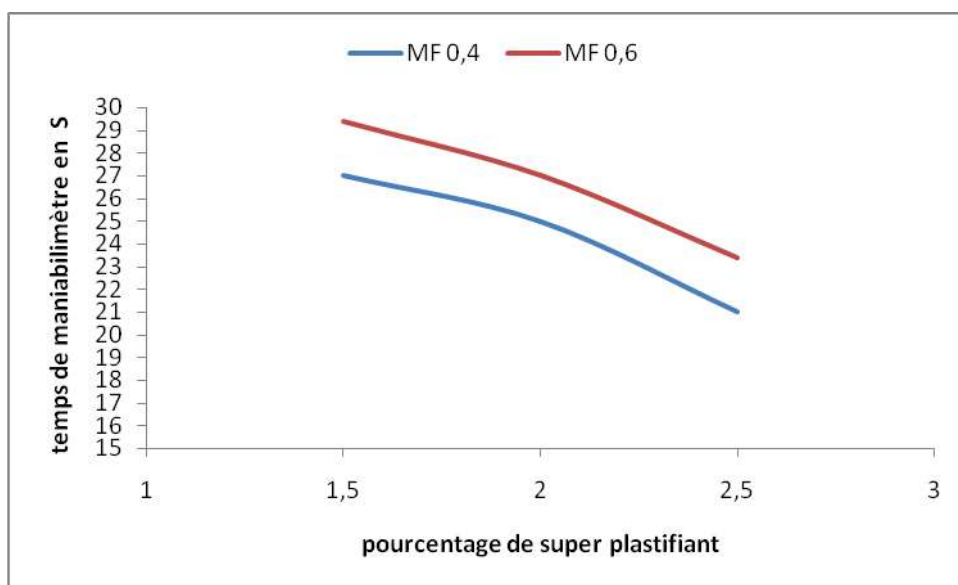


Figure IV-2 : Variation de la maniabilité en fonction du pourcentage de SF

D'après la Figure IV-2, Nous remarquons que la maniabilité (le temps d'écoulement) reste dans l'intervalle (20 ± 5 s) pour un pourcentage de super-plastifiant égal 2.5 %.

De ce fait, nous adoptons, pour notre mortier de fibre un pourcentage de super-plastifiant égale 2.5 % de masse de ciment. Les mortiers utilisés seront composés comme suite :

Tableau IV-4 : les différentes compositions de mortier et de mortier de fibres

Désignation	Ciment (kg)	Sable (kg)	Eau (kg)	SDB (kg)	PZN (kg)	Fibres (kg)	SP (Kg)	E/L
MC	516.7	1550	232.54	0	0	0	0	0.45
MC-0.4	516.7	1543.8	258.35	0	0	6.2	0	0.6
MC-0.6	516.7	1540.7	258.35	0	0	9.3	0	0.65
MC-0.4	516.7	1543.8	232.54	0	0	6.2	12.92	0.45
MC-0.6	516.7	1540.7	258.35	0	0	9.3	12.92	0.5
MSDB10	465	1550	279.02	51.7	0	0	0	0.54
MSDB15	439.2	1550	284.2	77.5	0	0	0	0.55
MSDB20	413.4	1550	299.6	103.34	0	0	0	0.58
MSDB10-0.4	465	1540.9	310	51.67	0	9.1	12.92	0.6
MSDB15-0.4	439.2	1540.9	315.2	77.5	0	9.1	12.92	0.61
MSDB20-0.4	413.4	1540.9	330.7	103.34	0	9.1	12.92	0.64
MSDB10-0.6	465	1537.1	361.69	51.67	0	13.65	12.92	0.7
MSDB15-0.6	439.2	1537.1	366.86	77.5	0	13.65	12.92	0.71
MSDB20-0.6	413.4	1537.1	377.2	103.34	0	13.65	12.92	0.73
MZ20	413.4	1550	258.35	0	103.35	0	0	0.5

MZ40	310	1550	258.35	0	206.7	0	0	0.5
MZ60	206.7	1550	258.35	0	310	0	0	0.5
MZ20-0.4	413.4	1540.9	258.35	0	103.35	9.1	12.92	0.5
MZ40-0.4	310	1540.9	258.35	0	206.7	9.1	12.92	0.5
MZ60-0.4	206.7	1540.9	258.35	0	310.4	9.1	12.92	0.5
MZ20-0.6	413.4	1537.1	258.35	0	103.35	13.65	12.92	0.5
MZ40-0.6	310	1537.1	258.35	0	206.7	13.65	12.92	0.5
MZ60-0.6	206.7	1537.1	258.35	0	310.4	13.65	12.92	0.5

1. MC : mortier classique
2. MC-0.4 : mortier de fibres avec 0.4% de fibres
3. MC-0.6 : mortier de fibres avec 0.6% de fibres
4. MSDB10 : mortier avec 10% de sable de dunes broyé
5. MSDB15 : mortier avec 15% de sable de dunes broyé
6. MSDB20 : mortier avec 20% de sable de dunes broyé
7. MSDB10-0.4 : mortier avec 10% de sable de dunes broyé avec 0.4% de fibres
8. MSDB15-0.4 : mortier avec 15% de sable de dunes broyé avec 0.4% de fibres
9. MSDB20-0.4 : mortier avec 20% de sable de dunes broyé avec 0.4% de fibres
10. MSDB10-0.6 : mortier avec 10% de sable de dunes broyé avec 0.6% de fibres
11. MSDB15-0.6 : mortier avec 15% de sable de dunes broyé avec 0.6% de fibres
12. MSDB20-0.6 : mortier avec 20% de sable de dunes broyé avec 0.6% de fibres
13. MZ20 : mortier avec 20% de pouzzolane naturelle et 80% CPJ.
14. MZ40 : mortier avec 40% de pouzzolane naturelle et 60% CPJ.
15. MZ60 : mortier avec 60% de pouzzolane naturelle et 40% CPJ
16. MZ20-0.4 : mortier avec 20% de pouzzolane naturelle avec 0.4 % de fibres.
17. MZ40-0.4 : mortier avec 40% de pouzzolane naturelle avec 0.4 % de fibres.
18. MZ60-0.4 : mortier avec 60% de pouzzolane naturelle avec 0.4 % de fibres.
19. MZ20-0.6 : mortier avec 20% de pouzzolane naturelle avec 0.6 % de fibres.
20. MZ40-0.6 : mortier avec 40% de pouzzolane naturelle avec 0.6 % de fibres.
21. MZ60-0.6 : mortier avec 60% de pouzzolane naturelle avec 0.6 % de fibres.

Les mélanges sont réalisés de sorte que :

La masse de ciment +SDB+PZN égal 1516.7 kg.

La masse du sable plus fibres égal 1550 kg

La masse de l'eau plus super plastifiant est modifié de sorte a travaillé avec une ouvrabilité constante (20 ± 5) s.

D'après les résultats de maniabilité nous remarquons que le pourcentage d'eau de gâchage augmente avec l'augmentation du pourcentage des fibres et de sable de dunes broyé.

IV.3. Malaxage du Mortier de Fibres

Le malaxage et la confection du mortier de fibre sont effectués selon une méthode inspiré de la norme EN-196-1 en suivant les démarches développées par (KRIKER,2005), qui consiste à imbiber les fibres dans 10% d'eau de gâchage pendant 5 mn ensuite malaxer les agrégats (sable) avec 30 % d'eau de gâchage durant 30 s, par la suite introduire progressivement les fibres humides avec 30 % de l'eau de gâchage et malaxer durant 3 mn afin d'éviter d'une part, l'absorption brusque d'une très grande quantité d'eau de gâchage ce qui gênerait l'opération de malaxage et d'autre part de faciliter la séparation des fibres, dans le but d'éviter leur regroupement. Enfin ajouter le ciment et le reste de l'eau en continuant le malaxage durant 2 mn et 30s.

L'adjuvant est mélangé au préalable dans la totalité de l'eau de gâchage.

IV.3.1. Préparation et Conservation des Eprouvtes de Mortier de Fibre de Palmier Dattier

La préparation des éprouvtes de mortier classique et de fibres est effectuée selon une méthodologie inspirée de la norme EN196-1. Après l'opération de malaxage, les moules (40X40X160) mm sont remplis en deux couches, suivie d'une vibration à table vibrante de 60 s pour chaque couche. Après la finition, les moules sont couvertes de plastique et conservés dans les conditions du laboratoire ($T = 30 \pm 2$ °C) et une humidité relative (HR) de (65 ± 5 %) durant 24 h, après, on effectuera l'opération de démoulage voire (Annexe).

Les éprouvettes de mortier classique et de mortier de fibres sont conservées dans l'eau pendant 14 jours et le reste à l'air libre (CE14) jusqu'à la date de leur écrasement. En effet, des études antérieures (KRIKER,2005,ABANI,2003), ont montrées l'efficacité de ce type de traitement (CE14) sur l'amélioration des performances des bétons en climat chaud et sec.

IV.4. Résistance à La Flexion des Mortiers de Fibres de Palmier Dattier

La résistance à la flexion du mortier classique et de fibres est déterminée selon la norme EN 196-1 par un dispositif de flexion trois points Figure 4-5 et à l'aide d'une machine ELE destinée à la détermination de la résistance à la flexion, comme le montre les photos (voir Annexe).

La résistance à la flexion est donnée par la formule (IV.2).

Si F_f est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut et la résistance de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est :

$$R_f = \frac{F_f \cdot L}{4} \quad [\text{MPa}] \dots \dots \dots (IV.2)$$

Avec : R_f : Résistance à la flexion.

F_f : Charge de rupture en N.

L : La distance entre les appuis ($L = 100 \text{ mm}$).

b : Le coté de la section carrée du prisme. ($b = 40 \text{ mm}$).

Le schéma de la figure IV-3 ci-après montre l'emplacement de l'éprouvette prismatique dans le dispositif de flexion (DUPAIN.R, 2000).

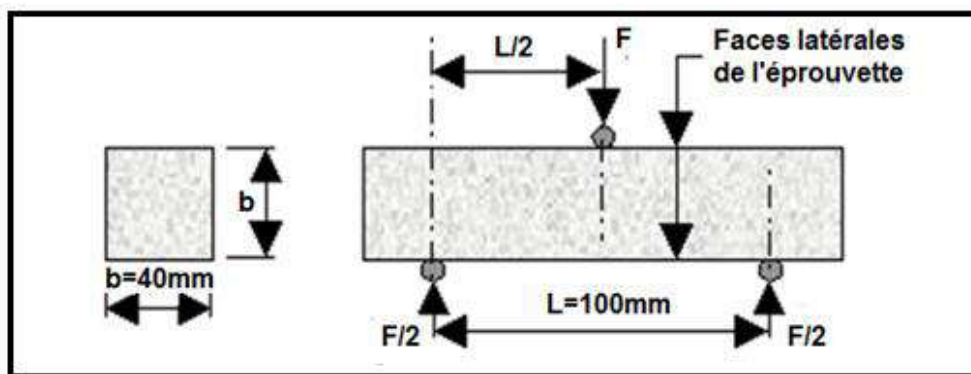


Figure IV.3: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion

A chaque échéance d'essai, six éprouvettes sont utilisées.

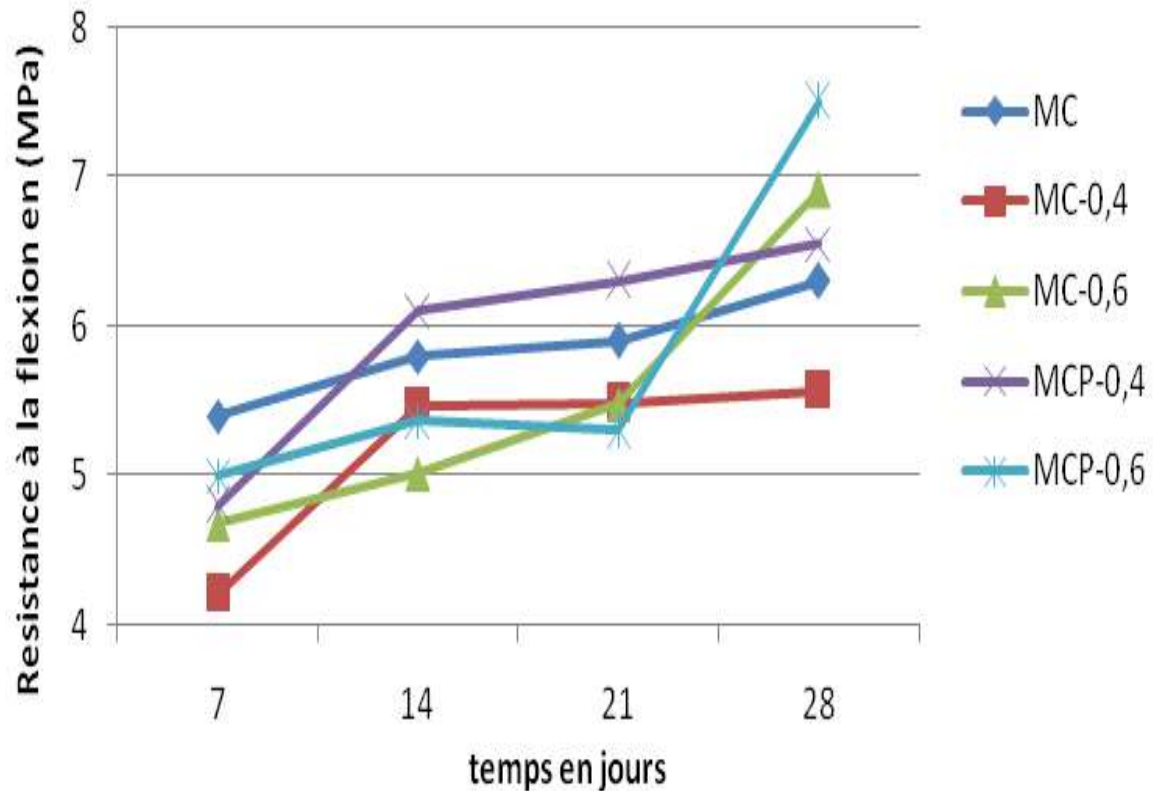


Figure IV-4 : Résistance à la flexion en fonction du pourcentage de super plastifiant et de fibres dans le mortier

D'après la **figure IV-4**, nous remarquons que l'incorporation des fibres de palmier dattier et de super-plastifiant ont un effet positif sur l'amélioration de la résistance à la flexion des mortiers et le mortier avec 0.6% de fibres de palmier dattier nous a donné le meilleur résultat de point de vue résistance après 28 jours.

IV.4.1. L'effet de l'environnement et du type de cure sur la résistance du mortier de fibres :

Dans cette étude nous avons étudié l'influence de type de cure par la conservation de mortier de fibres MC-0.6 dans les cures suivantes :

- ✓ L'eau potable du robinet (C-ER)
- ✓ L'eau de la nappe phréatique de Hai El Nasr (C-NP)
- ✓ A l'air libre (C-AL)
- ✓ Couvert au film de plastique (C-FP)

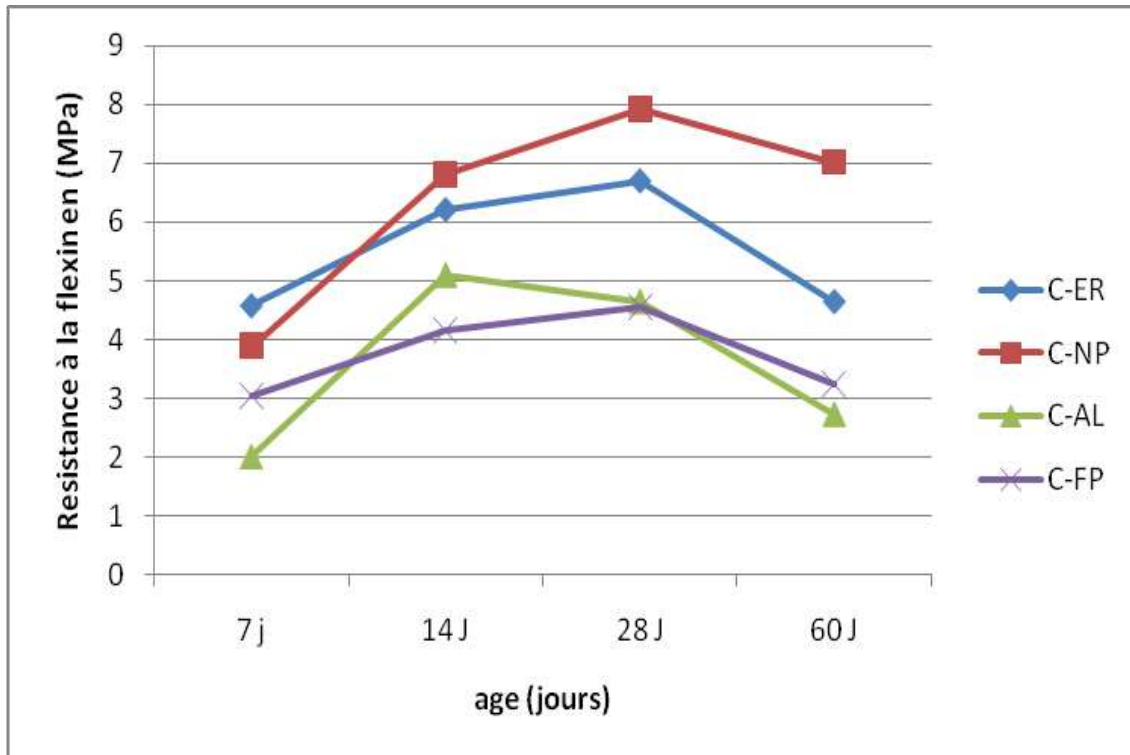


Figure IV-5 : Influence du milieu de conservation sur la résistance à la flexion du mortier de fibres

D'après la figure IV-5, on remarque que tous les mortiers présentent une amélioration de résistance à la flexion dans la période de 7 jours jusque au 28 jours ; au-delà de 28 jours nous remarquons qu'il y a une chute de résistance après 28 jours de tous les mortiers. Cette chute peut être due à la chute de durabilité des fibres dans les milieux cimentaires alcalins.

On remarque aussi que le mortier conservé dans l'eau de la nappe phréatique présente le meilleur résultat de point de vue résistance.

IV.4.2. Traitement de la matrice cimentaire par l'incorporation du sable de dunes broyé :

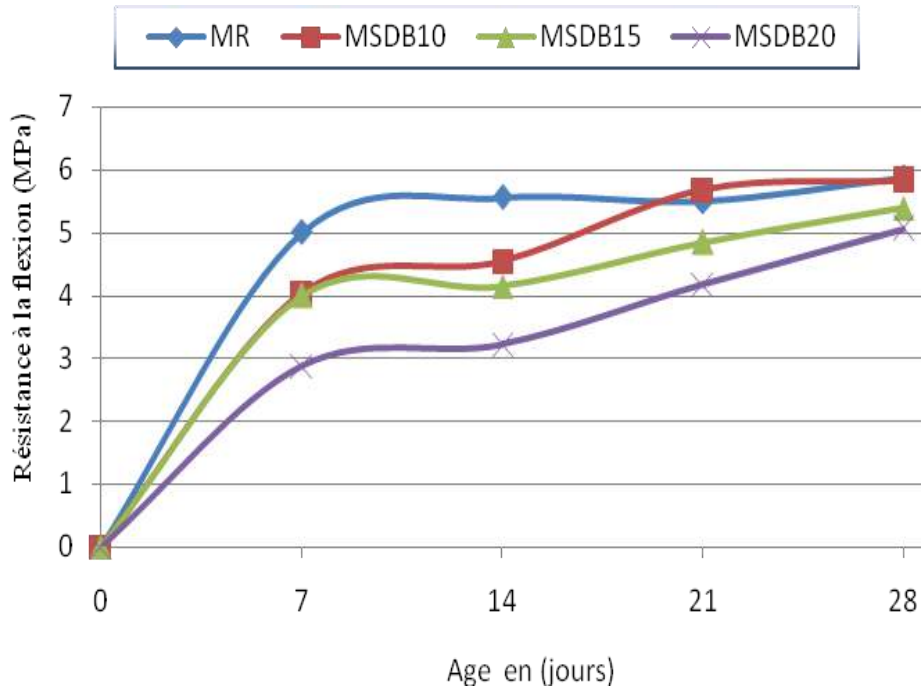


Figure IV-6 : Résistance à la flexion de mortier à base de CPJ et SDB

D'après la figure IV-6, nous remarquons qu'il y a une évolution positive de la résistance à la flexion de toutes les compositions. Si nous faisons une comparaison de toutes les valeurs obtenues nous remarquons que la composition avec 10% de sable broyé donne presque les mêmes résultats que celles obtenues pour le mortier témoin.

On peut conclure que l'augmentation du pourcentage sable de dune broyé au-delà de 10% dans la matrice cimentaire n'a pas un effet positif sur la résistance à la flexion.

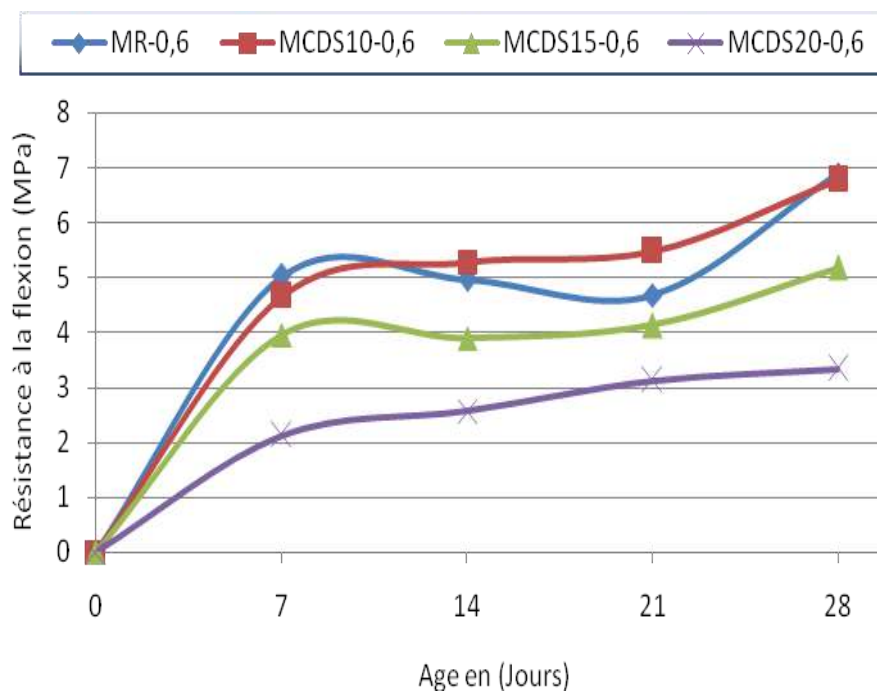


Figure IV-7 : Résistance à la flexion de mortier de fibres de sable de dunes broyé

D'après la figure IV-7, nous remarquons qu'il ya une évolution de la résistance à la flexion de toutes les compositions.

Si nous faisons une comparaison de toutes les valeurs obtenues, nous remarquons que l'augmentation du pourcentage sable de dune broyé dans la matrice cimentaire conduit à la chute de résistance à la flexion.

Pour le mortier témoin renforcé de 0.6% de fibres de palmier dans la matrice cimentaire nous donne le meilleur résultat et cela peut être expliqué par la bonne compacité de la matrice et la bonne adhérence (fibres - matrice).

IV.5. Etude de la durabilité de mortier de fibres

IV.5.1. Résultats de Durabilité sur des Fibres Noyées dans différentes Matrices Pouzzolaniques

Après 30 jours, 3 mois et six mois de durcissement dans des matrices pouzzolanique, nous avons récupéré les fibres noyées dans différentes matrices cimentaires avec les pourcentages de 20 %,40 % et 60 % de pouzzolane naturelle. Six échantillons de

fibres sont utilisés pour chaque diamètre et chaque pourcentage de pouzzolane. Les éprouvettes de mortier sont initialement conservées dans l'eau durant 14 jours.

La Figure IV-8, présente la variation de résistance à la traction en fonction du temps et de la nature de matrice et de diamètre

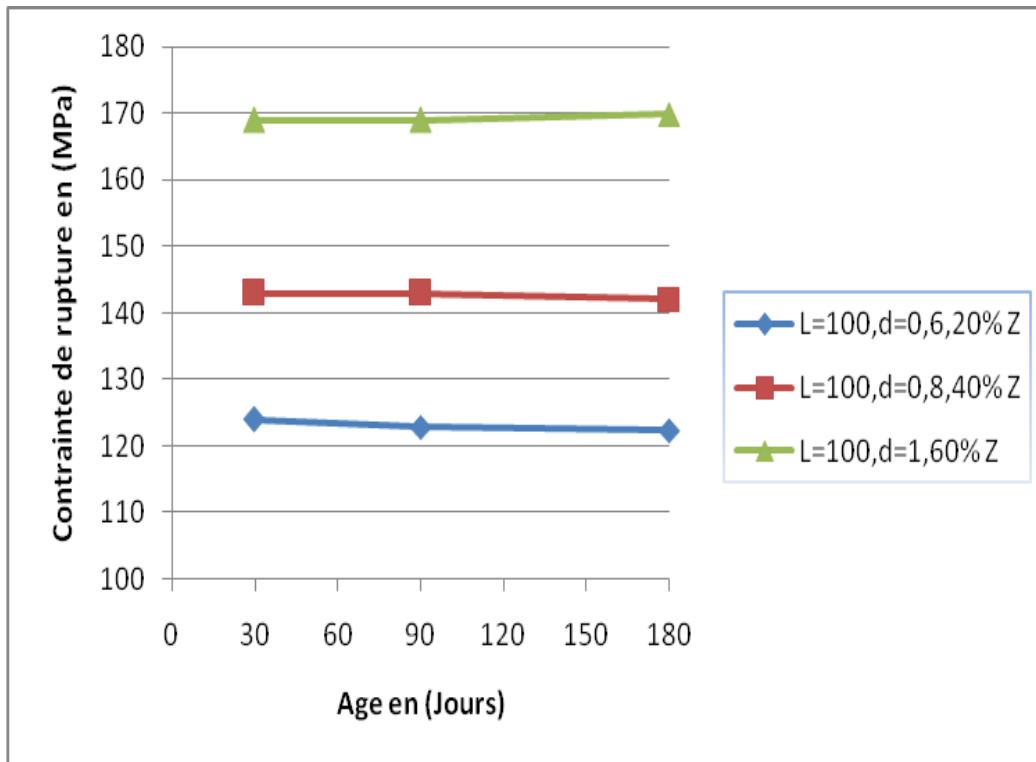


Figure IV-8 : Contrainte de rupture des fibres en fonction d'âge Noyées dans différentes Matrices Pouzzolaniques

D'après la Figure IV-8, Nous remarquons que la résistance à la traction des fibres reste presque constante en fonction du temps de conservation dans les différentes matrices cimentaires avec 20 %, 40 % et 60 % de pouzzolane naturelle. Les fibres gardent presque leur résistance initiale (état naturelle) ce qui confirme que la pouzzolane présente un bon milieu de conservation et empêche la libération de la chaux de ciment qui influe défavorablement sur la durabilité et les caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales.

En outre, les observations sur les fibres conservées 30 j, 90 j et 180 j nous ont permis de constater que ces fibres sont restées flexible sans aucun changement sur leur

diamètre et leur état de surface initial ; cela confirme aussi la bonne durabilité de ces fibres dans les matrices pouzzolaniques.

Ce résultat est en accord avec la littérature (MOKHTARI.F, 1991), entre autre, (KRIKER, 2005, ABANI, 2003), qui ont mis en évidence la chute de durabilité des fibres de palmier dattier dans les ciments CPA ou CPJ et ont recommandés l'utilisation des ciments à base pouzzolaniques.

IV.5.2. Traitement de la matrice cimentaire par l'incorporation de pouzzolane naturel :

IV.5.2.1 Résistance à La Flexion des Mortiers de Fibres par l'ajout de Pouzzolane Naturelle

IV.5.2.1.1 Ajout de 20 % de pouzzolane naturelle

La figure IV-9 présente la variation de la résistance de flexion en fonction du pourcentage des fibres dans la matrice cimentaire à base de CPJ plus 20 % de pouzzolane naturelle.

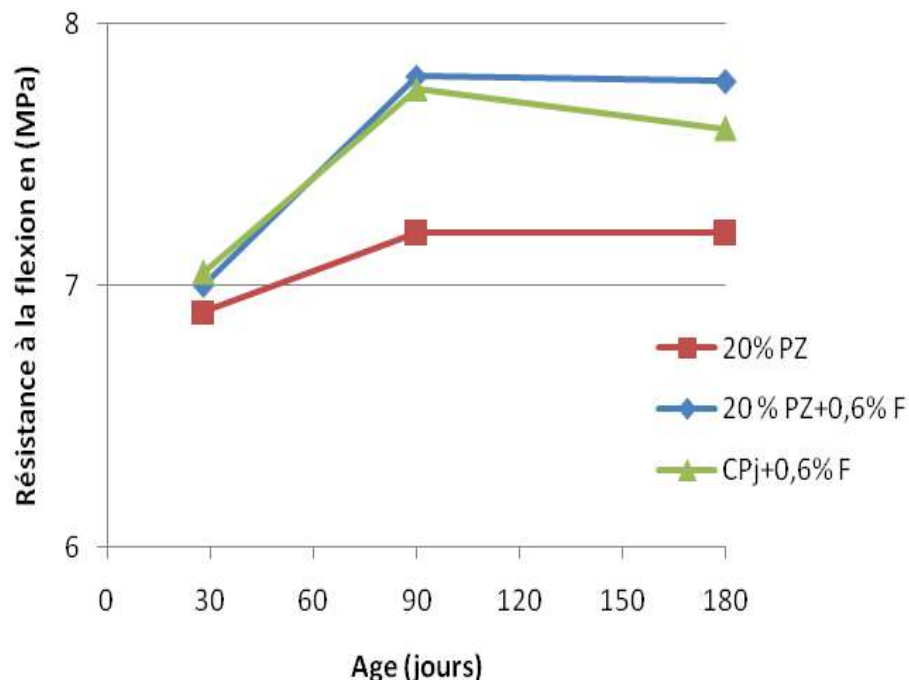


Figure IV-9 : Résistance à la flexion en fonction d'âge dans la matrice de CPJ+20%Z

D'après la figure IV-9, nous remarquons qu'il y a une amélioration de la résistance pendant la période de 28 à 90 jours, et le mortier renforcé de 0.6% de fibres dans la matrice de CPJ avec 20 % Z est le plus résistant. Mais après 90 jours, nous remarquons qu'il y a une quasi-stabilité de la résistance de flexion pour les mortiers à base de 20 % Z, mais le mortier à base de CPJ présente une légère chute de résistance après 90 jours.

Nous constatons que la pouzzolane naturelle a joué un rôle très important dans l'amélioration de la résistance à la flexion après 90 jours. Ce qui confirme la bonne tenue et la bonne durabilité des fibres dans la pouzzolane naturelle. De ce fait, une bonne adhérence fibre-matrice.

IV.5.2.1.2 Ajout de 40 % de pouzzolane naturelle

La figure IV-10, présente la variation de la résistance de flexion en fonction de pourcentage des fibres de longueur 40 mm dans la matrice cimentaire à base de CPJ plus 40 % de pouzzolane naturelle.

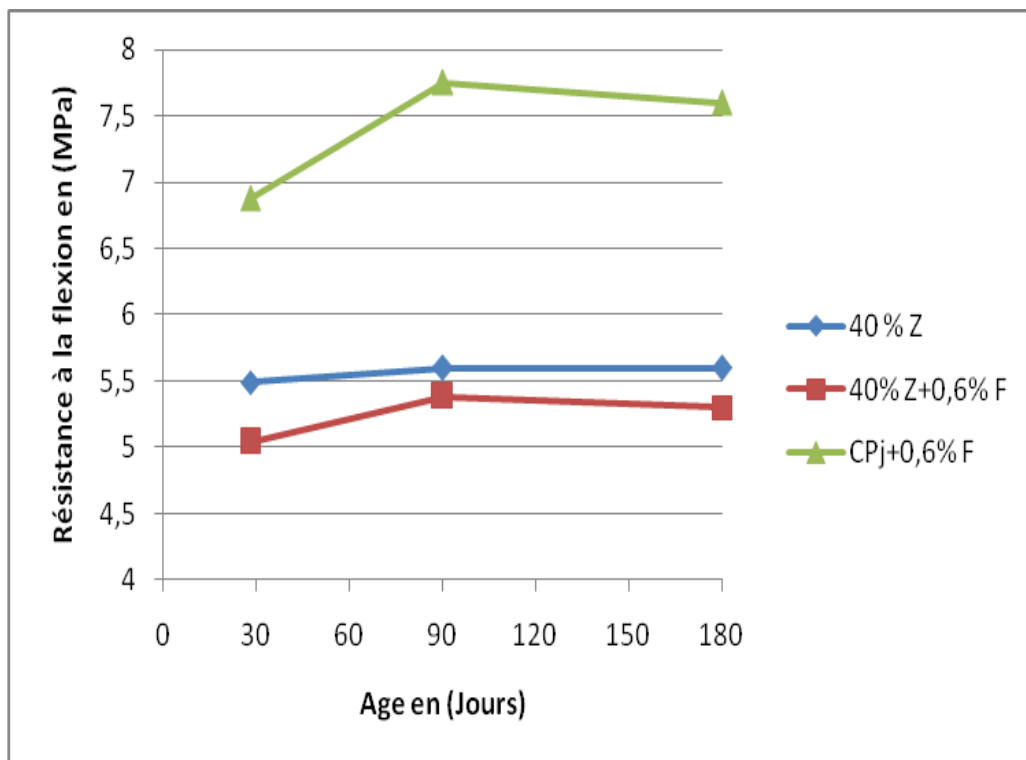


Figure IV-10 : Résistance à la flexion en fonction d'âge dans la matrice de CPJ+40%Z

D'après la figure IV-10, nous remarquons qu'il y a une amélioration de la résistance à la flexion pour les premiers 90 jours. Cependant, le mortier classique présente le meilleur résultat. Mais au delà de 90 jours et jusqu'à 180 jours, nous remarquons qu'il y a une quasi stabilité de la résistance de flexion pour le mortier à base de pouzzolane, quoique le mortier de fibres à base de CPJ présente une légère diminution de résistance à long terme.

IV.5.2.1.3 Ajout de 60 % de pouzzolane naturelle

La figure IV-11 présente la variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage des fibres de longueur 60 mm dans la matrice à base de CPJ plus 60 % de pouzzolane naturelle.

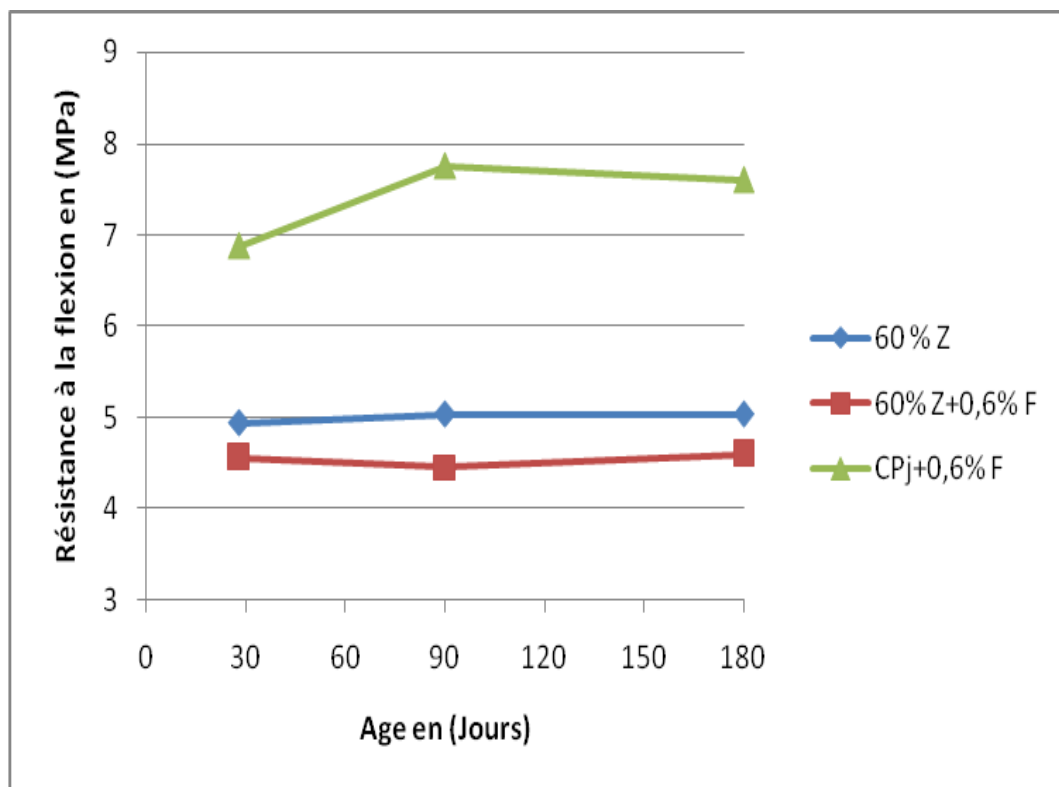


Figure IV-11 : Résistance à la flexion en fonction d'âge dans la matrice de CPJ+60%Z

D'après la figure IV-11, nous remarquons qu'il y a une évolution positive de la résistance à la flexion pour les premiers 90 jours et le mortier classique reste le plus résistant. Mais après 90 jours, nous remarquons qu'il y a une légère chute de résistance à la flexion pour le mortier de fibres à base de CPJ.

Si nous comparons ces résultats avec ceux présentés dans les figures précédentes, nous remarquons que la pouzzolane naturelle a joué un rôle très important dans la conservation de la résistance à long terme à cause d'une bonne durabilité et une bonne adhérence fibre matrice. Le pourcentage 20 % présente les meilleurs résultats du point de vue résistance. Nous constatons qu'avec 20 % de pouzzolane les valeurs de la résistance à la flexion dépassent légèrement ceux de mortier classique à base de CPJ. Cependant, les mortiers de fibres avec 40 % et 60 % de pouzzolane ont présenté des résistances à la flexion inférieure à celui de mortier classique à base de CPJ. Quoique les autres mortiers avec les pourcentages 40 % et 60 % aient présenté une légère chute de résistance après 90 jours, comparativement avec ceux de 20 % de pouzzolane ; ces mortiers ont des résistances à la flexion relativement faibles. Cela est attribué au faible dosage de la matrice cimentaire et par la suite à la faible adhérence matrice fibres à cause de la diminution du pourcentage de CPJ dans la matrice, ainsi qu'aux conditions de conservation non humides. En effet, les matrices pouzzolaniques demandent un environnement relativement humide pour leur hydratation.

IV.6 Résistance à la compression :

L'essai de compression a été effectué sur les cubes provenant de l'essai de traction par flexion étant donné que ce dernier fende l'éprouvette en deux parties. Norme EN 196-1 autorise l'utilisation de ces parties pour l'essai de compression sur cube équivalent. Pour notre cas, la machine d'essai type « CONTROLS » Voir Photo (Annexe) ayant une capacité maximale de 130 kN et d'une vitesse de chargement de l'ordre de 0.5 ± 0.2 MPa par seconde.

La résistance à la compression correspond à la contrainte maximale calculée par la formule suivante :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2} \quad [\text{MPa}] \dots\dots\dots(\text{IV.3})$$

R_c: Résistance à la compression en (MPa);

F_c: Charge de rupture en (N);

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm

La figure IV.12 montre l'emplacement des morceaux de cube sur le dispositif d'essai.

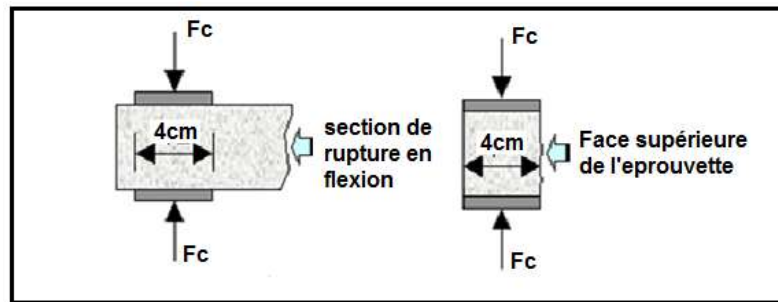


Figure IV.12: Dispositif de rupture en compression (DUPAIN.R,2000)

IV.6.1. Résistance à la compression des mortiers en fonction du pourcentage des fibres

La figure IV-13 présente la variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage des fibres dans la matrice cimentaire à base de CPJ.

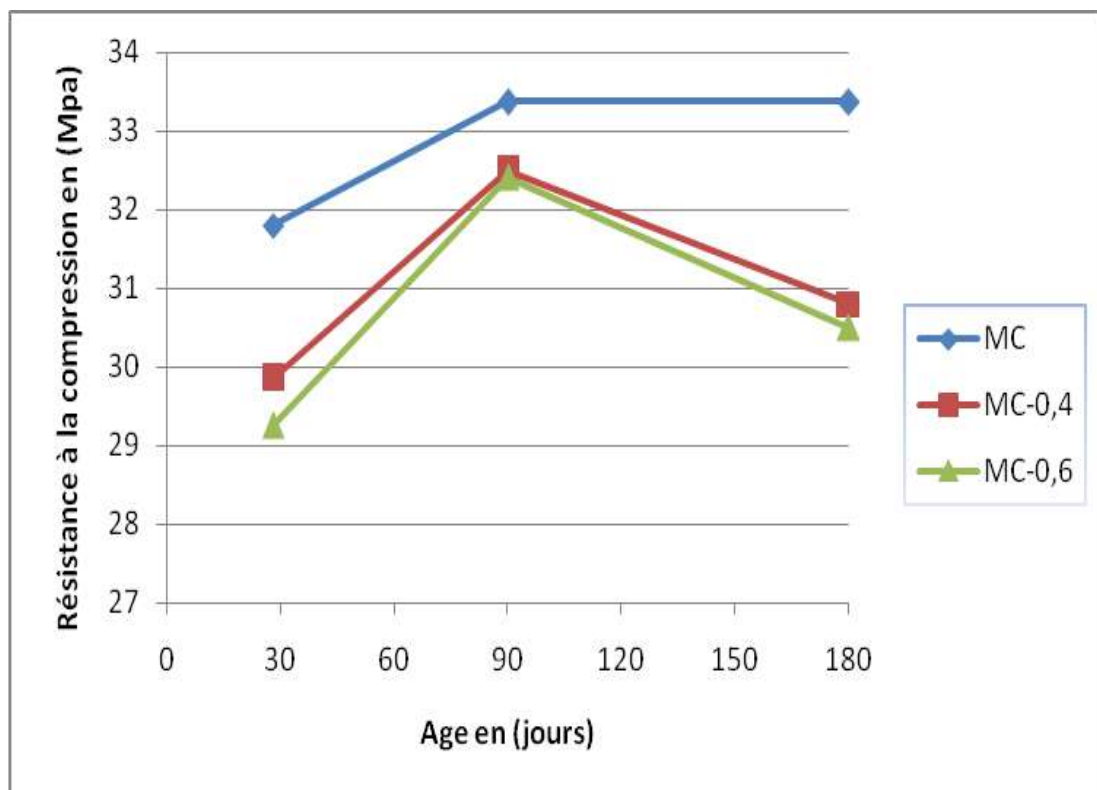


Figure IV-13 : Résistance à la compression en fonction d'âge dans la matrice de CPJ

D'après la figure IV-13, nous remarquons qu'après 28 jours et jusqu'à 90 jours, tous les mortiers présentent une évolution positive de la résistance à la compression. Le mortier sans fibres reste le plus résistant. Après 90 jours, nous remarquons qu'il y a eu une chute de résistance à la compression pour les mortiers de fibres. Cela est probablement dû à la chute de durabilité des fibres dans la matrice cimentaire et à l'extension des microfissures entre la fibre-matrice, à cause des conditions climatiques chaudes et sèches. Par contre, le mortier classique a gardé sa résistance presque constante.

IV.6.2. Résistance à la compression des mortiers de sable de dunes broyé

La figure IV-14, présente la variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage du sable de dunes broyé dans la matrice cimentaire.

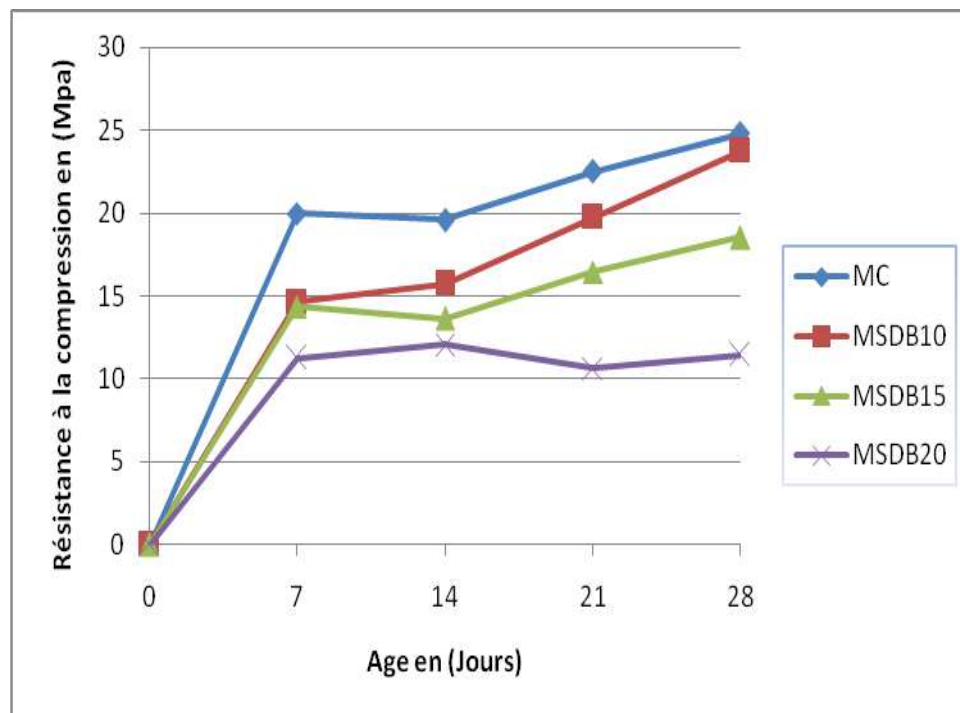


Figure IV 14 : Résistance à la compression de mortier à base de CPJ+SDB en fonction d'âge

D'après la figure IV-14, nous remarquons que tous les mortiers présentent une évolution positive de la résistance à la compression. Le mortier classique et le mortier avec 10% de sable de dunes broyé sont les plus résistants. Par contre les deux compositions de (15 et 20% de SDB) affichent une diminution de résistance à la compression le long de la période de 14 à 28 jours, nous remarquons aussi que les deux compositions de 15% et 20% de SDB

donnent des valeurs de résistance inférieures à celle du mortier classique. Ce qui explique que l'incorporation de sable de dune broyé au-delà de 10% conduit à la diminution de dosage de ciment et par conséquent à la chute de la résistance.

IV.6.3. Résistance à la compression de mortiers de fibres de sable de dunes broyé

La figure IV-15 présente la variation de la résistance à la compression de mortiers de fibres de sable de dunes broyé en fonction d'âge.

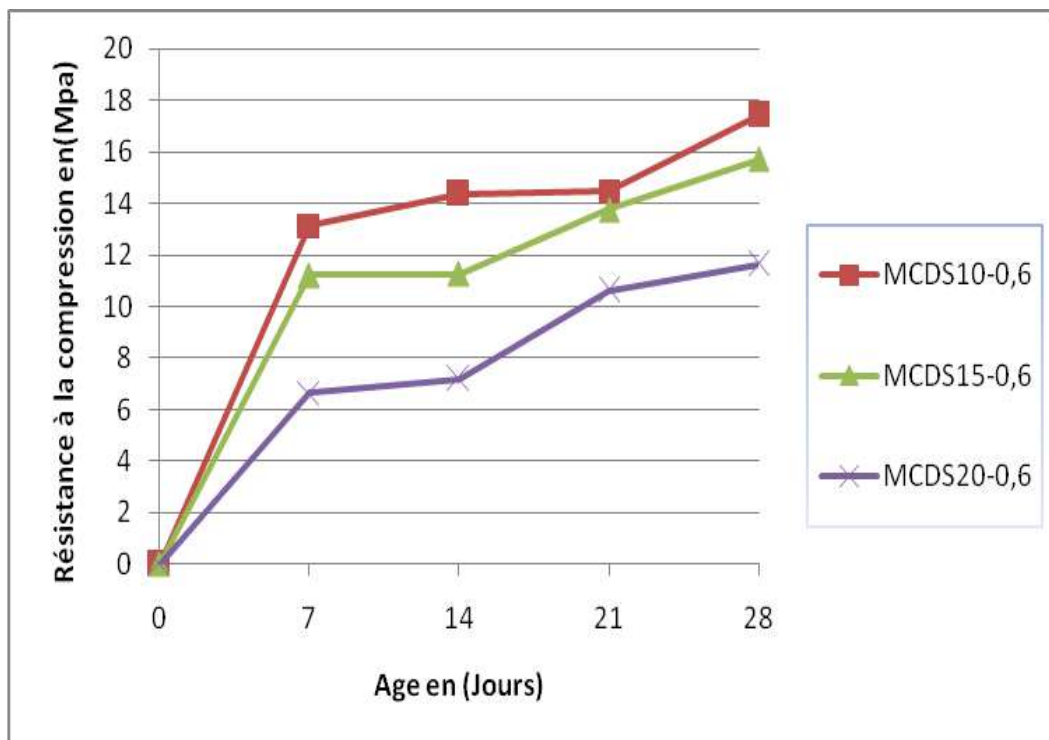


Figure IV 15 : Résistance à la compression de mortier de fibres dans la matrice de CPJ+SDB

D'après la figure IV-15, nous remarquons que tous les mortiers de fibres présentent une évolution positive de la résistance à la compression. Le mortier avec 10% de sable de dunes broyé est le plus résistant. Nous remarquons aussi que toutes les deux compositions de 15% et 20% de SDB donnent des valeurs de résistance inférieures à celle du mortier classique. Ce qui explique que l'incorporation de sable de dune broyé au-delà de 10% conduit à la diminution de dosage de ciment et par conséquent à la chute de la résistance à la compression.

Si on compare les résultats de mortiers de sables de dunes broyé et ceux de mortiers de fibres de sables de dunes broyé nous remarquons que l'incorporation de fibres de palmier dattier diminue la résistance à la compression et cela est en accord avec la littérature.

IV.6.4. Résistance à la Compression des Mortiers de Fibres dans la Matrice Cimentaire à Base de CPJ Plus ajout de Pouzzolane naturelle

IV.6.4.1. Ajout de 20 %, 40 % et 60 % de pouzzolane naturelle

Les figures IV-16,17 et 18 présentent la variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de fibres dans la matrice cimentaire à base de CPJ plus 20 %,40 % et 60 % de pouzzolane naturelle respectivement.

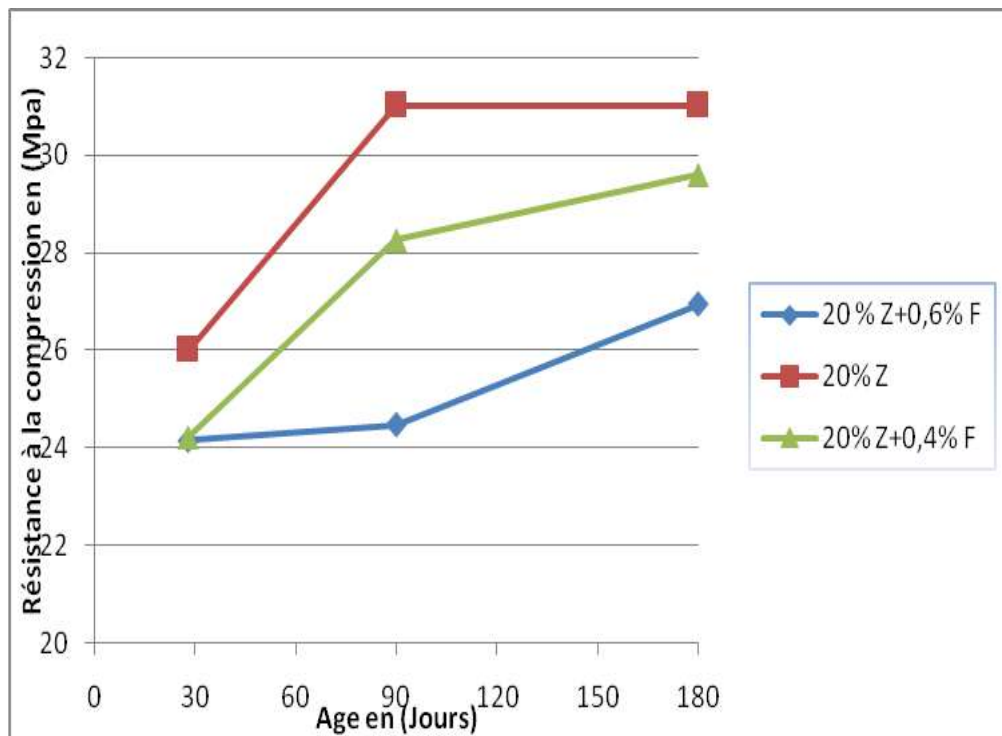


Figure IV-16 : Résistance à la compression dans la matrice à base de CPJ+20% Z

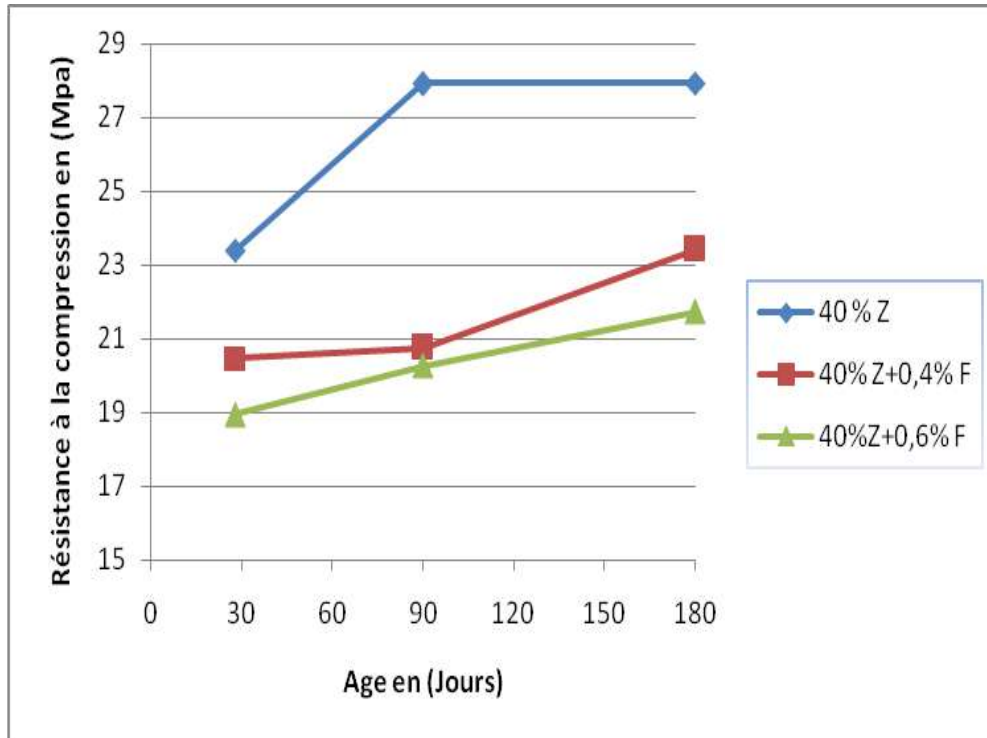


Figure IV-17 : Résistance à la compression dans la matrice à base de CPJ+ 40% Z

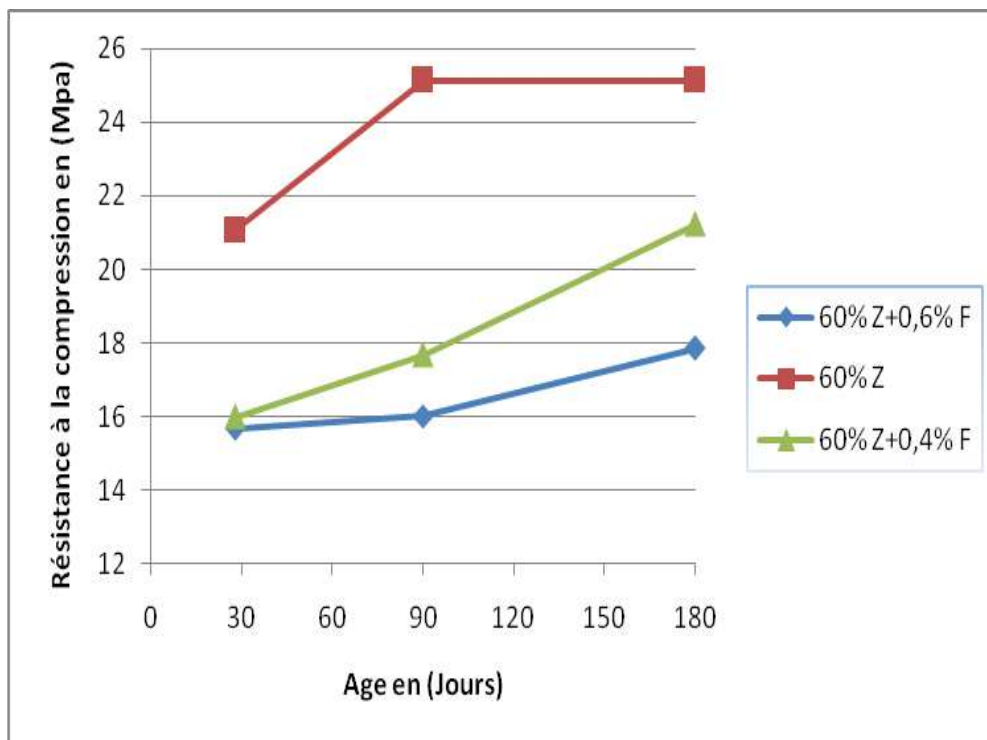


Figure IV-18 : Résistance à la compression de mortier de fibres dans la matrice à base de CPJ+ 60% Z

D'après les figures IV 16,17 et 18, nous remarquons qu'au-delà de 28 jours et jusqu'à 90 jours, tous les mortiers présentent une évolution positive de la résistance à la compression. Le mortier sans fibres reste le plus résistant. Après 90 jours et jusqu'à 180 jours, nous constatons que le mortier sans fibres présente une stabilité de résistance, mais les mortiers de fibres présentent une relative amélioration de résistance.

Le mortier de fibres avec 20% de pouzzolane naturelle présente le meilleur résultat de mortier de fibres.

Nous remarquons aussi que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation de pourcentage des fibres. Cela est due probablement à la favorisation de l'ouverture des bielles en fonction de l'augmentation du pourcentage des fibres, ce qui favorise la formation des micro-fissures d'où la diminution de la résistance à la compression.

IV.7. La masse volumique du mortier de fibres :

La figure IV.19: présente l'évolution de la masse volumique du mortier en fonction du milieu et la durée de conservation

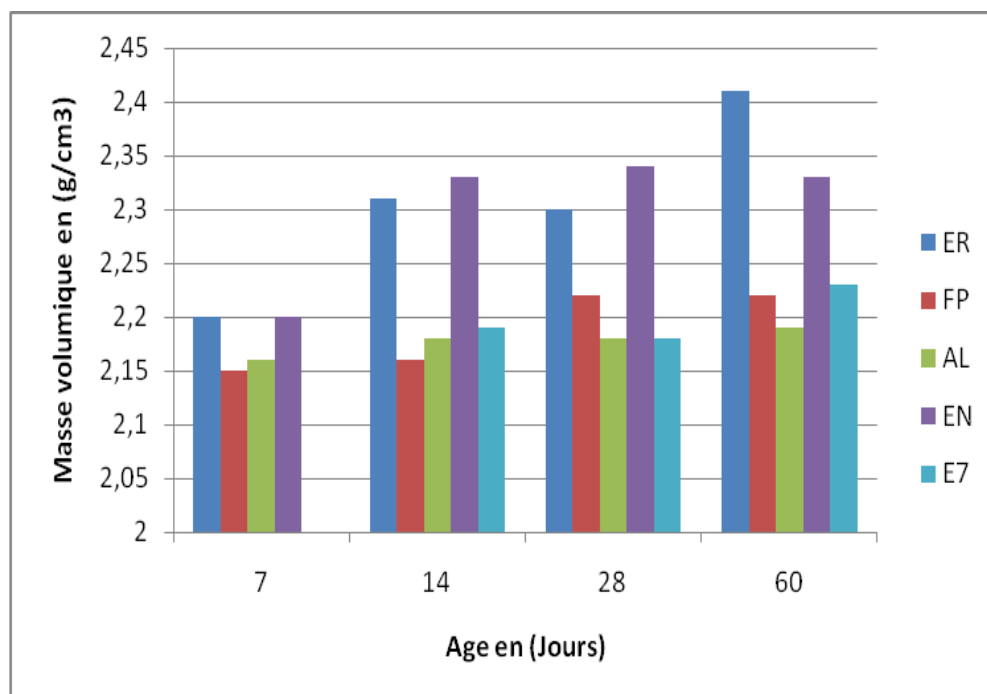


Figure IV.19: Evolution de la masse volumique du mortier de fibres en fonction de l'âge dans différents milieux de conservation.

D'après la figure IV.19, on remarque que la masse volumique augmente en fonction d'âge dans les milieux humides et diminue dans les autres milieux. Et sa peut l'interpréter par l'augmentation de masse d'eau dans les éprouvettes et aussi l'augmentation de la quantité d'eau absorber par les fibres par contre la diminution de masse d'eau pour Les éprouvettes conservées dans les milieux secs due à la vaporisation de l'eau dans les mortiers et les fibres.

- Le mortier de fibres conservé dans la cure [E-N] présente une chute de la masse volumique au delà de 28 jours.

IV.8. Essais ultrasonique :

Principe de l'essai :

Un train d'ondes longitudinales est produit par un transducteur électro-acoustique maintenu au contact d'une surface du béton soumis à l'essai. Après avoir parcouru une longueur connue dans le béton, le train de vibrations est converti en signal électrique par un deuxième transducteur, et des compteurs électroniques de mesure du temps permettent de mesurer le temps de parcours de l'impulsion.

Mesure de la vitesse de propagation des ultrasons :

a) - Mesures en transparence (transmission directe) :

Utilisées dans le cas des éprouvettes ou de poteaux ou dans certaines poutres, les Transducteurs (émetteur et récepteur) sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester. La vitesse de propagation des ultrasons est déterminée à partir de la formule.

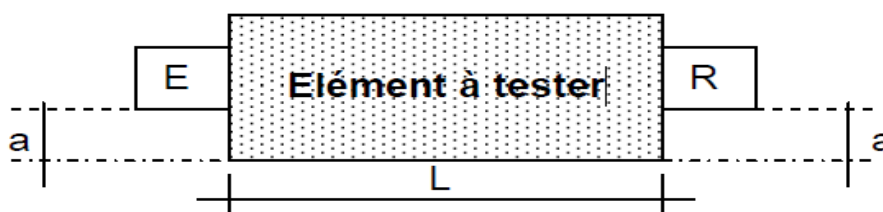


Figure IV.20: Mesure direct de la vitesse de propagation ultrasonique

$$V = L / T \dots\dots\dots (IV.4)$$

V : vitesse des ondes ultrasonores longitudinales en m/s,

L : longueur de parcours en mm,

T : temps de propagation des ondes de l'émetteur au récepteur en ms.

b)- Mesures en surface (transmission indirecte)

La mesure par transmission indirecte est la moins sensible, elle n'est utilisée que si une seule face du béton est accessible (les dalles, éléments en longueur...) ou si l'on s'intéresse à la qualité du béton de surface par rapport à la qualité globale. L'émetteur est maintenu en un point fixe ; le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance. Après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant. Les temps et les distances sont portés sur un graphe, on trace la droite moyenne de ces différents points dont la pente correspond à la valeur de la vitesse des ultrasons dans le milieu considéré.

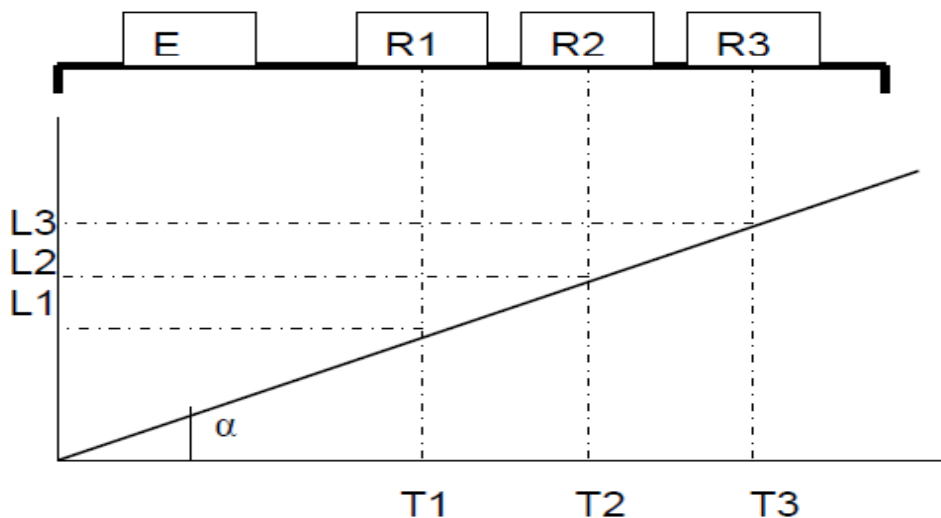


Figure IV.21: Mesure indirecte de la vitesse de propagation ultrasonique

$$\text{Vitesse} = \text{pente} = \Delta L / \Delta T \dots\dots\dots (IV.5)$$

Pour chaque série de mesure, il faut réaliser au moins cinq (05) points, la distance entre deux étant comprise entre 10 et 30 cm.

c)- Mesures en transparence par rayonnement (transmission semi-directe)

La mesure par transmission semi-directe est utilisée lorsque la disposition directe ne peut pas être adoptée, par exemple dans les coins des structures.

Si une seule mesure est réalisée, l'essai est assimilé à celui de la méthode par

transmission directe (transparence) : la vitesse de propagation des ultrasons est calculée à partir de la formule (1).

Si l'on réalise plusieurs mesures en déplaçant le transducteur – récepteur, l'essai est assimilé à celui de la méthode par transmission indirecte (en surface) : l'émetteur est placé en un point fixe, et sur la face opposée ou perpendiculaire, le récepteur est déplacé à intervalle constant (10 à 30 cm) sur une ligne.

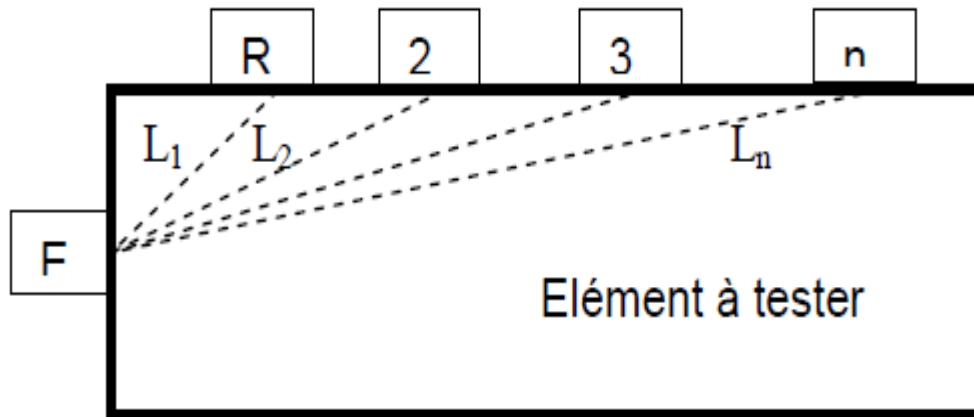


Figure III.22: Mesures en transparence par rayonnement

Vitesse(v) = pente = $\Delta L / \Delta T$(IV.6)

Dans cette étude nous avons utilisé la mesure en transparence (transmission direct)

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau IV-5 : variation de la vitesse de propagation des ondes ultrason en fonction du temps et pour différents milieux hygrométrique

Durée en jours	Milieu de conservation				
	À l'eau	Au plastic	À l'air libre	À l'eau de la nappe	7 jours dans l'eau
7 j	4025.26	3448.93	3272.39	3884.4	/
14 j	4048.08	3526.22	3346.51	3963.76	3796.13
28 j	4327.44	3827.86	3400.22	4269.62	3871.84
60 j	4194.16	3560.2	3147.01	4002.70	3862.40

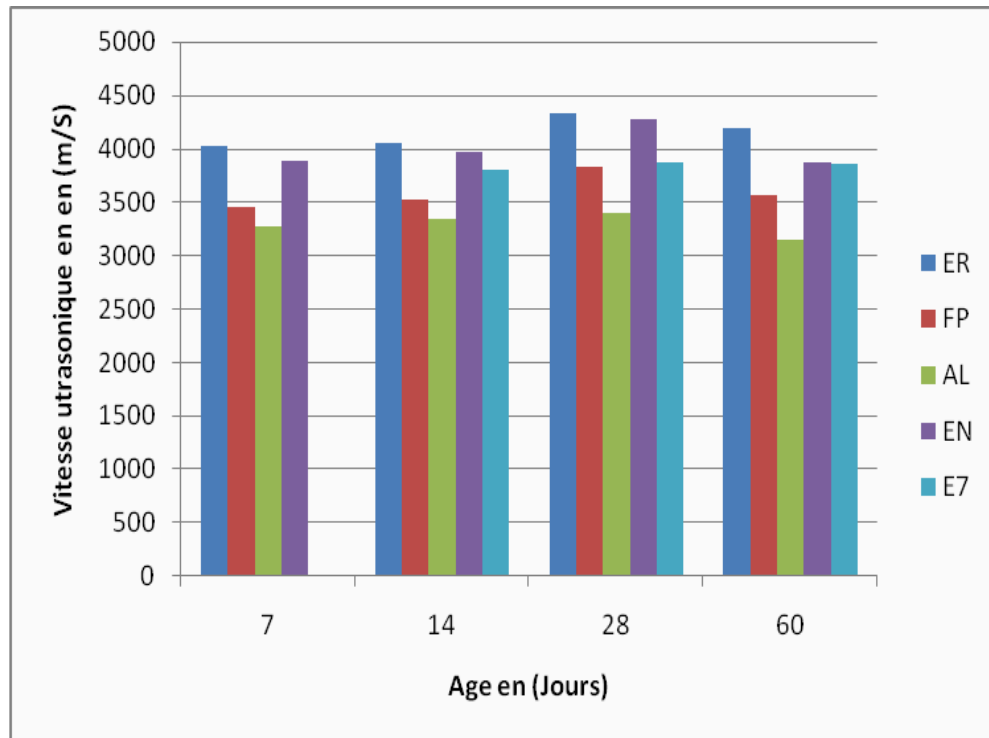


Figure IV.23: Evolution de la vitesse de propagation en fonction d'âge et des milieux de conservations

D'après la figure IV.23, on remarque qu'il y a une diminution de la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques pour les éprouvettes conservées dans les milieux secs, cette diminution est peut être due à l'augmentation des vides dans le mortier a cause de l'évaporation rapide de l'eau qui influe aussi sur la formation des hydrates de ciment et par conséquent on obtient un matériau moins compact. Mais pour les éprouvettes conservées dans les milieux humides nous remarquons qu'il ya une augmentation de vitesse ultrasonique ce qui peut interpréter par la diminution des vides dans les mortiers conservés dans les milieux humides.

IV.9. Conclusion :

L'ouvrabilité diminue en fonction de l'augmentation du pourcentage des fibres pour cela, nous avons utilisé un super plastifiant pour pouvoir travailler avec un rapport E/C constant et égale à celui du mortier classique et avec une ouvrabilité constante et la même que celle du mortier classique.

Trois types de matrice sont utilisés à savoir :

- Mortier à base de CPJ.
- Mortier à base de CPJ+pouzzolane en poudre (20 % ,40 % et 60 %).
- Mortier à base de CPJ+ sable de dunes broyé (10%,15% et 20 %).

La durabilité des fibres de palmier dattier dans la matrice cimentaire CPJ est faible, ce qui peut être expliqué par la faible tenue de ces fibres dans la chaux libérée par le ciment qui attaque la cellulose des fibres et se traduit par la perte de la résistance à la traction. Par contre, les fibres du palmier dattier conservées dans les matrices de CPJ plus 20 %, 40 % et 60 % de pouzzolane naturelle, restent presque inchangées et gardent leur résistance initiale à la traction ainsi que leur état de surface initial, ce qui explique que la pouzzolane naturelle présente un bon milieu de conservation et empêche la libération de la chaux de ciment et par la suite augmente la durabilité de ces fibres.

La résistance à la flexion s'améliore avec l'incorporation des fibres, et le mortier de fibres avec 20 % de pouzzolane naturelle présente le meilleur résultat, qui dépasse le mortier classique, même celui à base de CPJ.

Pour la résistance à la compression, nous remarquons que la résistance diminue avec l'augmentation du pourcentage des fibres. Et cela est en accord avec la littérature. En effet, la majorité des auteurs rapportent que l'ajout des fibres végétales au béton ou au mortier n'améliore pas sa résistance à la compression.

L'étude des propriétés physiques du mortier de fibre de palmier dattier, montre une augmentation de la masse volumique en fonction de la l'âge dans les différents types de cure.

La résistance à la flexion du mortier de fibres augmente en fonction d'âge jusqu'à 28 jours, au-delà de 28 j on remarque une chute de la résistance à la flexion, mais le cure E7 présente une amélioration de la résistance à la flexion en fonction d'âge.

La résistance à la compression du mortier de fibres diminue en fonction d'âge dans tous les milieux de conservation.

Diminution de la vitesse de propagation des ondes ultrason en fonction d'âge. Cela est due à l'augmentation des vides dans le mortier à cause de l'évaporation de l'eau qui influe aussi sur la formation des hydrates de ciment et par conséquent on obtient un matériau moins compact.

L'augmentation de la vitesse ultrasonique en fonction d'âge. Cela est due à la diminution des vides dans les mortiers de fibres conservés dans les milieux humides.

La composition (10% SDB +0.4% Fibres) donne la meilleure résistance à la flexion pour les mortiers de fibres à base de SDB+ciment.

*Conclusions générales
et
recommandations*

Conclusion générale

Ce travail de thèse consiste à étudier la durabilité des mortiers renforcés par des fibres de palmier dattier. Pour cela, une recherche bibliographique comportant des généralités sur les fibres, sur les matériaux composites et sur la matrice cimentaire suivi d'une étude sur les différents types de fibres et leurs utilisations nous a permis de conclure qu'il y a une orientation accrue vers l'utilisation des fibres végétales, des fibres de carbone ou de polymère.

Dans le deuxième chapitre nous avons traité le comportement des mortiers de fibres végétales et leurs durabilités ainsi que la caractérisation des matériaux utilisés dans ce travail, ce qui a conduit à ce qui suit :

- Le ciment utilisé est un CPJ CEMII A/ 32.5 de poids spécifique inférieur à la moyenne habituelle des ciments, une finesse élevée et une prise satisfaisante aux spécifications des ciments courants, avec un taux d'alcalis $>$ à 0.60 %.
- Le sable alluvionnaire utilisé est un sable moyen de couleur jaunâtre de la région de Hassi Sayah, siliceux, peu argileux, d'un taux d'absorption faible, à granulométrie étalée et grossier, et qui est inscrite dans le fuseau recommandé pour les bétons ordinaires.
- Le sable de dune est un sable propre de la région de Ain-El-Beida Ouargla, a granulométrie serrée et fin et qui est inscrit on partie en dehors du fuseau recommandé.
- L'eau de gâchage est celle de robinet de laboratoire ayant une faible salinité.
- L'adjuvant utilisé est un super plastifiant de type MEDAPLAST-SP de pH neutre et de faible teneur en chlore et qui a pour effet d'améliorer l'ouvrabilité à un rapport E/C constant.
- Les fibres utilisées sont des fibres de surface de palmier dattier de la région de Ouargla (type Dokar) de masse volumique apparente faible et qui ont un taux d'absorption d'eau élevée qui peut atteindre les 200%, avec une moyenne résistance à la traction.

La deuxième étape de cette partie du travail concerne la formulation de mortier de fibres végétales. En premier lieu, nous avons formulé un mortier classique, en travaillant avec une ouvrabilité constante, en utilisant l'essai de maniabilité afin d'optimiser le rapport E/C pour l'obtention d'une meilleure maniabilité. De cette partie nous avons conclu ce qui suit :

- L'augmentation des dosages des fibres dans le mortier provoque une chute considérable de l'ouvrabilité du mélange et pour pouvoir travailler avec une ouvrabilité constante nous avons ajouté un super- plastifiant, le pourcentage adopté est de 2.5 %.
- La résistance à la flexion s'améliore avec l'incorporation des fibres et le mortier de fibres avec 20 % de pouzzolane naturelle présente une légère amélioration qui dépasse parfois la résistance du mortier classique à base de CPJ.
- La résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage des fibres, cela est en accord avec la littérature. En effet, la majorité des auteurs rapportent que l'ajout des fibres végétales au béton ou au mortier n'améliore pas la résistance à la compression.

Enfin le traitement des matrices par l'utilisation de pouzzolane et le sable de dunes broyé, nous a montré que l'utilisation de pouzzolane améliore la durabilité des fibres.

Recommandations

D'après les résultats obtenus par cette recherche et en vue d'une future utilisation rationnelle de ces matériaux composites, nous recommandons de compléter cette recherche par les axes suivants :

- Prévoir des procédés techniques qui offrent une durée d'humidification plus longue pour les mortiers ou béton de fibres à base de CPJ plus pouzzolane.
- L'étude de la durabilité de béton de fibres de palmier dattier par l'utilisation d'autres procédés pour l'amélioration de la durabilité de la matrice cimentaire, à titre d'exemple par la carbonisation à jeune âge par un gaz carbonique dans un milieu humide ou bien le traitement des fibres par d'autres procédés chimiques.
- Prolonger la durée initiale de conservation dans un milieu humide pour les mortiers à base de pouzzolane avant de les exposer à l'air libre ou bien arroser les éprouvettes à raison d'une fois par jour et étudier l'effet de cycle mouillage séchage sur les performances mécaniques de ces matériaux composites.

- Proposition des solutions techniques pour augmenter l'activité hydraulique de la pouzzolane.

Synthèse

Bibliographique

-A-

A.T.H.I.L., " Guide pratique pour l'emploi des ciments ". Édition EYROLLES 1998.

ABBANI, S., " Caractérisation et durabilité des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier". Mémoire de magister, université de Ouargla, 2003

AIT AMEUR, M.M., "Contribution à l'étude expérimentale des bétons renforcés de fibres d'acier locales", Thèse de Magister, Université de Tiaret, Algérie, 1998.

Auvray J.M., "Elaboration et caractérisation à haute température de bétons réfractaire à base d'alumine Spinnelle" thèse de doctorat, université de Limoges Science et technologie de santé 2003

Ayyar T.S.R, Mirihagalla P.K. "Elephant grass fibers as reinforcing fiber", Magazine of concrete research, Vol, 28, N°96, 162-167, 1976.

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 1981.

-B-

Baley C. Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites. Les techniques de l'ingénieur, AM 5 130, 2004.

BEAUDOIN, J.J., "Béton renforcé de fibres", Institut de Recherche en Construction (IRC) conseil national de recherche Canada p04,1982.

BEHIM.M. brochure "Durabilité du béton et des ouvrages"université de Annaba 2011.

BENTUR, A. and AKERS, S.A.S., "The micro Structure and ageing of cellulose fibre.

Berlioze.S, , "Etude de l'estérification de la cellulose par une synthèse sans solvant. Application aux matériaux nano composites", thèse doctorat de l'université JOSEPH FOURIER, Sciences des Polymères, 2008.

BLANKENHORN, P.R., BLANKENHORN, B.D., SILSBEE, M.R. and DICOLA,M. "Effect of fiber surface treatments on mechanical properties of wood fiber-cement composites", Cement and Concrete, Research, 31, pp. 1049-1055, 2001.

Bledzki, A.K. Gassan,J."Composites reinforced with cellulose based fibres", Prog. Polym. Sci. 24 221–274, 1999.

BOUCHEKOUK, M., " Etude du béton renforcé par des fibres de verre enduites de polymères thermoplastiques ", Thèse de Doctorat, INSA de Lyon, France, 1992.

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

-C-

CASANOVA, P., LEMAOU, F., SCHALLER, I., " Les fibres d'acier peuvent-elles remplacer les armatures transversales dans les poutres de béton armé ? " , bulletin de liaison L.C.P.C, N° 195 Jan.-Fev, 1995.Cement and Concrete, composites, 22, pp.127-143, 2000.

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

Couhert C. Pyrolyse flash à haute température de la biomasse lignocellulosique et de ses composés - production de gaz de synthèse", Thèse de pour obtenir le de Doctorat de l'Ecole des Mines de Paris Energétique.2007

COUTTS, R.S.P., "From Forrest to factory to Fabrication", Fibre Reinforced cement and Concrete, Edited by SWAMY R.N., RILEM, 1992.

-D-

Davies P., Morvan C., Sire O., Baley C., ' propriétés de fibres extraites de phanérogames marines (ZOSTERA marina)'', revue des composites et des matériaux avancés, Vol 16, pp41-48, 2006.

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.

DEVENNE, L., SOURIDIS, C., PIAU, J.M., "Un code de calcul pour la prévision du comportement de structures en dommageables en béton, en béton armé, ou en béton de fibres " Annales ITBTP, N°478, 1989.

DREUX, G., FESTA, J., " Nouveau guide du béton " Édition EYROLLES Paris, Mai 1998

DUPAIN, R., LANCHON, R., SAINT ARROMAN, J. C., "Granulats, sols, ciments et bétons – caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire " Collection CAPLIEZ, édition CASTEILLA, V235, Paris 2000.

-E-

EN 196-1 "méthodes d'essais de ciment ", AFNOR, France 1994.

-F-

F. Michaud, "Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage" thèse Phd, univ Laval, 2003

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

FICHE TECHNIQUE sur le MEDAPLAST SP, super plastifiant. GRANITEX NP

Feughelman 1997.

-G-

Ghazali.M. J. , Azhari.C.H., S. Abdullah & M. Z. Omar "Characterization of natural fibers (Sugarcane Bagasse) in Cement Composites" Proceed ings of the World Congress on Engineering , London, Vol II July 2 - 4, 2008.

GORISSE.F. " Essais et Contrôle des bétons". Édition EYROLLES, vol 2000, Paris ,1978.

Govin.A, ,"Aspects Physico -Chimique de l'interaction bois-ciment- modification de l'hydratation du ciment par le bois" thèse de Doctorat de l'université de Limoges ,2004.

GRAM, H.E., " Durability of natural fibers in concrete " Swedish cement and concrete research Fo.1:83,p.255,1983.

-H-

Hatsch.D, , "Interaction hôte/pathogène : étude du modèle Cumulus lupulus Fusarium graminearum. Identification, génomique et transcriptomique du pathogène," thèse de doctorat de l'université de Louis Pasteur Strasbourg I, Sciences du Vivant – Aspects moléculaires et cellulaires de la biologie.2004.

-I-

INFORMATION MATERIAUX., " fiche technique". CIIC Édition 2002.

-J-

] SERSALE, R., " Structure et caractérisation des pouzzolanes et des cendres volantes ". 7ème congrès International de la chimie de ciments. Volume 1. Paris, 1980.

Joly.N. "synthèse et caractérisation de nouveaux films plastiques obtenues par acylation et réticulation de la cellulose", thèse doctorat de l'université de Limoges, chimie des substances Naturelles, 2003.

Jean Marie.B,1996

-K-

KHENFER, M. M. "Caractérisation structurale et rhéologique des ciments et des plâtres renforcés de fibres cellulosiques". Thèse de docteur, université de Bordeaux, Juin 1990.

KHENFER, M. M., MORLIER, P., "Caractérisation et microstructure ciments renforcés de fibres de cellulose". Bulletin des L.C.P.C 224 ,Réf 4236, pp.49-58, Jan-Fev 2000.

KHENFER. M. M, BALI. A, MORLIER. P. " The effect of water and fiber length on the fracture resistance of cellulosic fibers cement" Concrete science and engineering, Vol. 2, pp. 56-62, Mars 2000.

KRIKER. A., "Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec ". Thèse de doctorat d'état, ENP, Alger, 2005.

-L-

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

LACROIX, R., FUENTES, A. et THONIER, H., "Traité de béton armé" Édition EYROLLES Paris, 1982

LEWIS, G. and PREMAL, M., "Natural Vegetable Fibre as Reinforcement in Cement Sheets", Magazine of Concrete research, Vol. 31, N°107, pp. 104-108, June 1979.

-M-

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, 1984.

Michaud F., "Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage" thèse Phd, univ Laval, 2003.

MOKHTARI, F., "Contribution à l'étude des composites à base de liants pouzzolaniques et de bambou". Thèse de docteur, INSA Lyon, 1991.

Montiès.B., "Les polymères végétaux - Polymères pariétaux et alimentaires non azotés, Gauthier Villars (ed), Paris 1980.

MAHMOUD.T,2005.

-N-

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

Nenonene, A. Y. "Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage", thèse de doctorat de l'université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, Sciences des Agro ressources, 2009.

Noirfontaine, M.N. , "Étude structurale et cristallographie du composé majoritaire du ciment anhydre : le silicate tricalcique" thèse de doctorat, école polytechniques, 2000.

-P-

PICHON, H., GAUDON, P., BENHASSAIN, A., ETERADOSSSI, O " Caractérisation et quantification de la fraction réactive dans les pouzzolanes naturelles ". Bulletin de liaison des LCPC. N°201. Jan -fév 1996.

Promis, G., Gabor, A., Hamelin, P , "Behavior of beams made in textile reinforced mineral matrix composites" Comptes Rendus des JNC 16 ¾ Toulouse, 2009.

-Q-

Quinn, 2002

-R-

RECUEIL DE NORMES FRANÇAISES T1 1990 "béton et constituants du béton" 1990.

RECUEIL DE NORMES FRANÇAISES T2 " ciments et chaux" ,1990.

Rowell R.M.' Composite Materials from Agricultural Resources" Olsen,Ole; Rexen, Finn; Larsen, Jorgen, eds. Research in industrial application of non food crops, I: plant fibers: Proceedings of a seminar; 1995 May; Copenhagen, Denmark.Linkboy, Denmark Academy of Technical Science: 27-41.

Rical.J.C, 1992.

-S-

Satge.C.,'Etude de nouvelles stratégies de valorisation de mono et polysaccharides'', thèse doctorat de l'université de limoges, chimie des substances naturelles, 2002.

SAVASTANO, Jr.H., WARDEN P.G. and COOTTS, R.S.P., "Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites", Cement and Concrete, composites, 22, pp. 379-384, 2000.

Sedan D, ''Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composites'', thèse doctorat de l'université de limoges, matériaux céramiques et traitement de surface, 2007.

Sharma.B.R., Naresh L., N.C. Dhuldhoya, S.U. Merchant and U.C.Merchant Lucid "Colloids Limited Jodhpur"-342005, Rajasthan, India,2006.

Sheets ", Magazine of Concrete research, Vol. 31, N°107, pp. 104-108, June 1979.

SWAMY, R. H. S, AHUJA, B. M, KRISHAMOORTHY, S., "Behavior of concrete reinforced with jute, coir, bamboo fibers". The international journal of cement composite and light weight concrete, volume 5, p 13N°1, 1984.

Seidel.G, Huckuf.H et Stark.J, « Technologie des ciments, chaux et plâtres, processus et installations de cuisson » Paris : septima, 1980.

SBAIA A. Matériaux composites à matrice époxyde chargée ardes fibres de palmier dattier; effet de l'oxydation au tempo. These de doctorat, INSA de lyon, 2011.

-T-

Taylor.H.F.W, "Cement chemistry", 2nd edition, University of Aberdeen, 2007

Thiebaud.S, , "Valorisation chimique de composés lignocellulosiques obtention de nouveaux matériaux", thèse de doctorat, Institut National Polytechnique De Toulouse, Sciences des Agroressources, 1995.

TOLÊDO FILHO, R. D and SANJUAN, M. A., "Effect of low modulus sisal and polypropylene fiber on the free and restrained shrinkage of mortras at early age", and Concrete Research, 29, pp.1597-1604, 1999.

TOLÊDO FILHO, R.D., SCRIVENER, K., ENGLAND, G.L., and GHAVAMI, K., "Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites", Cement and Concrete, composites, 22, pp.127-143, 2000.

Tonoli.G.H.D., odriguez Filho.U.P. R b, Savastano.H. Jr. c, J. Bras d, M.N. Belgacem d, F.A. Rocco Lahr Cellulose modified fibres in cement based composites", Composites : Part A 40 2046–2053.2009.

Taalah.B., " étude du comportement physico-mécanique du bloc de terre comprimée avec fibres ", thèse de doctorat, université mohamed khider BISKRA, 1995.

-V-

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

-Y-

Yahiaoui.L' Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss),thèse de doctorat ,université Ferhat Abbas -SETIF, 2011.

Annexe



Photo A.1. : Essai d'équivalent de sable



Photo A.2. : Essai d'analyse granulométrique



Photo A.3. : Coulage et Vibration des moules



Photo A.4. : Disposition des moules après coulage

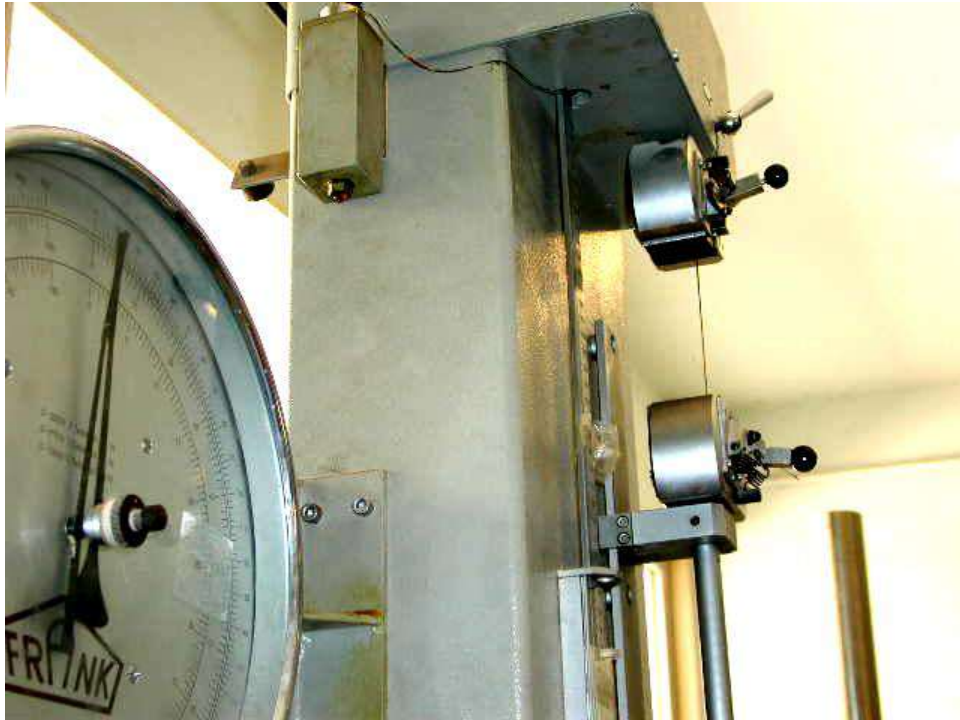


Photo A.5.1. : Machine d'essai de traction des fibres

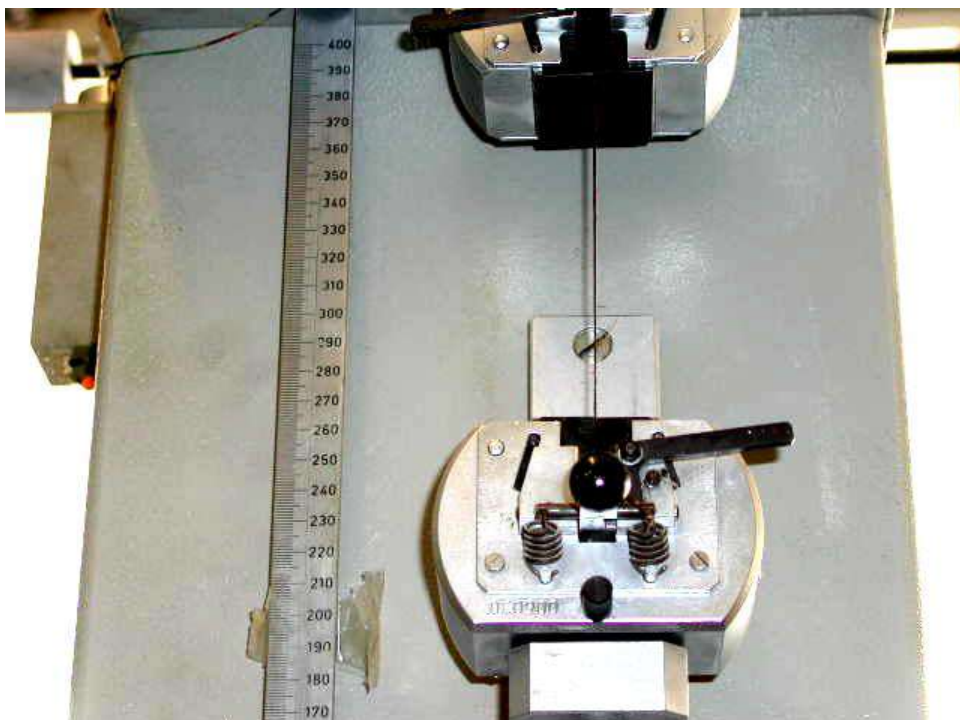


Photo A.5.2. : Essai de traction sur la fibre de palmier dattier



Photo A.6.1. : Machine d'essai de traction par flexion



Photo A.6.2. : Dispositif d'essai de traction par flexion



Photo A.7.1 : Machine d'essai de compression

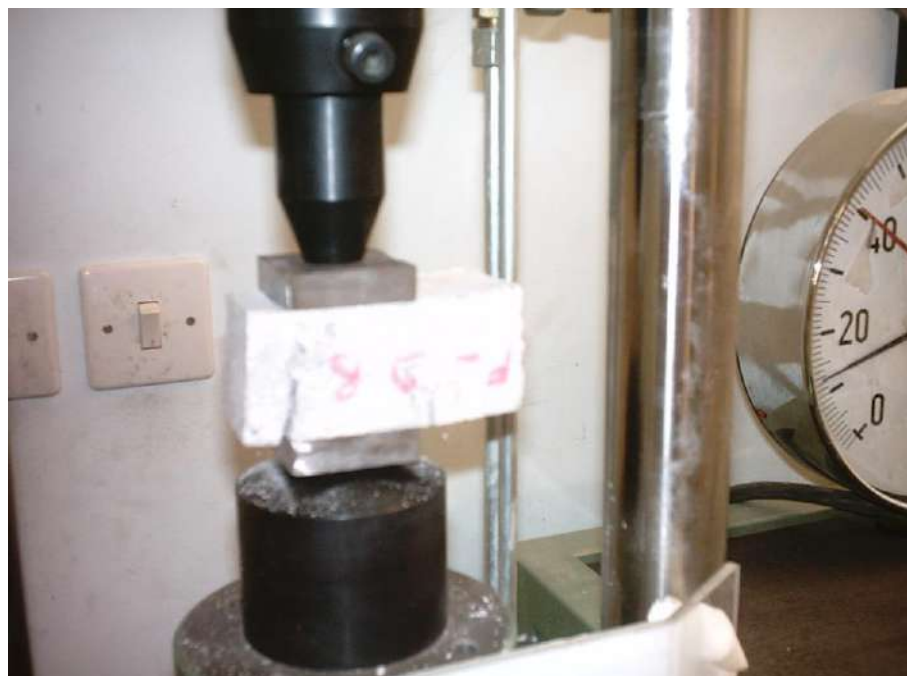


Photo A.7.2: dispositif d'essai de compression



Photo A.8 : Plaque typique de fibres de surface de palmier dattier



Photo A.9: Fibres de surface de palmier dattier individuelles après dé-fibration et lavage