

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABAUNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année : 2019

Faculté des sciences de l'ingénieur
Département de Génie Civil
Laboratoire Matériaux, Géomatériaux et Environnement

MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

TRAITEMENT DES FIBRES DE PALMIER DATTIER : INFLUENCE SUR LES PROPRIÉTÉS DES COMPOSITES FIBRÉS

Domaine : Sciences techniques
Filière : Génie civil
Spécialité : Matériaux du génie civil

Par :

Yamina BOUHADJILA
Zine Eddine RAHEM

DEVANT LE JURY

Président	BEHIM Mourad	Pr	Université Badji Mokhtar Annaba
Encadreur	ALI-BOUCETTA Tahar	MCB	Université Badji Mokhtar Annaba
Examineur	KHELIFI Walid	MCB	Université Badji Mokhtar Annaba

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout-puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience pour réaliser ce travail.

*J'exprime toute ma gratitude à nous encadreur **Mr ALI-BOUCETTA Tahar** pour l'aide inconditionnée, l'effort fourni, les conseils prodigués, sa patience et sa persévérance dans le suivi de ce travail.*

*Je remercie très sincèrement, **Mr BEHIM Mourad** d'avoir présidé le jury de notre soutenance et **Mr KHELIFI Walid** d'avoir examiné notre travail.*

Nous tenons à remercier tous les gens qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Enfin, je n'oublierais jamais le soutien de ma famille, mes parents, qui m'ont toujours entouré durant les périodes les plus difficiles.

Yamina BOUHADJILA

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma profonde gratitude à **Mr ALI-BOUCITTA Tahar** de m'avoir encadré pour mon projet de fin d'études.*

*Ainsi que mon binôme **Mlle BOUHADJILA Yamina** pour sa collaboration sur la partie pratique dans laboratoire.*

*Mes remerciements vont aussi à **MrZAIDI Mouhamed**, responsable d'administration de la DUAC. Ainsi qu'à **Mme DELALLO Radia**, responsable d'SUAC pour m'avoir accueilli au sein de sa subdivision et de m'avoir encadrée durant la période de mon projet, pour ses explications ses conseils et son aide.*

*Je remercie également **MrBEHIM Mourad** d'avoir présidé le jury de notre soutenance et **Mr KHELIFIWalid** d'avoir examiné notre travail.*

Je tiens à remercier aussi ma famille pour son soutien moral et financier et pour leur sacrifice.

Pour finir je tiens à remercier tous mes amis et tous mes camarades de promotion du génie civil spécialité matériaux.

Zine Eddine RAHEM

RÉSUMÉ

AUTEURS	Yamina BOUHADJILA ZineEddine RAHEM
TITRE	TRAITEMENT DES FIBRES DE PALMIER DATTIER : INFLUENCE SUR LES PROPRIÉTÉS DES COMPOSITES FIBRÉS
ENCADREUR	Mr. Tahar ALI-BOUCETTA, Maître de conférences à l'Université Badji Mokhtar – Annaba, Algérie

L'emploi des fibres végétales dans les matrices cimentaires a connu un nouveau tournant ces dernières années. Matériaux locaux, naturels et renouvelables qui nécessitent peu d'énergie pour leur production. Cependant, l'association de fibres végétales avec de la pâte de ciment pose un certain nombre de problèmes à l'état frais et durci. Différents traitements sont appliqués aux fibres de palmier dattier avec différentes méthodes dans le but d'améliorer les propriétés rhéologiques des mélanges de mortiers de ciment et de fibres. Ainsi, les effets de ces traitements sur les propriétés des fibres sont évalués. Les caractéristiques rhéologiques des mélanges de ciment et les propriétés mécaniques des composites cimentaires sont évaluées. Les résultats montrent une amélioration des propriétés des fibres, un meilleur comportement rhéologique des mélanges de ciment, une augmentation de la résistance mécanique des composites et une réduction du coefficient d'absorption d'eau par capillarité.

Mots clés :Fibre de palmier dattier, traitement à l'ébullition, traitement à l'hydroxyde de sodium, traitement à l'huile de lin.

ABSTRACT

AUTHORS Yamina BOUHADJILA
ZineEddine RAHEM

TITLE TREATMENT OF DATE PALM FIBERS: INFLUENCE ON THE
PROPERTIES OF FIBER COMPOSITES

FRAMER Mr. Tahar ALI-BOUCETTA, Maître de conférences à l'Université
Badji Mokhtar – Annaba, Algérie

The use of plant fibers in cementitious matrices to know a new turn in recent years. Local, natural and renewable materials that require little energy for their production. However, the association of plant fibers with cement paste raises a number of problems in both fresh and hardened states. Different treatments are applied of date palm fibers with various methods within the aim to enhance the rheological properties of the cement mortar–fiber mixtures. Thus, the effects of these treatments on the properties of the fibers are evaluated. The rheological characteristics of the cement mixtures and the mechanical properties of the composites are assessed. Results show an improvement in the properties of the fibers, better rheological behavior of the cement mixtures, an increase of the mechanical strength of the composites and a reduction of the water absorption coefficient by capillarity.

Keywords :Date palm fiber, boiling water treatment, sodium hydroxide treatment, linseed oil treatment.

AUTEURS	Yamina BOUHADJILA ZineEddine RAHEM
TITRE	TRAITEMENT DES FIBRES DE PALMIER DATTIER : INFLUENCE SUR LES PROPRIÉTÉS DES COMPOSITES FIBRÉS
ENCADREUR	Mr. Tahar ALI-BOUCETTA, Maître de conférences à l'Université Badji Mokhtar – Annaba, Algérie

في السنوات الأخيرة ، واستخدام الألياف الطبيعية النباتية في المصفوفة الأسمنتية أصبح شعبية جدا وعلى ارتفاع في السوق المركب بسبب سماتها الصديقة للبيئة . بناءً على المواد المحلية والطبيعية والمتجددة التي تتطلب القليل من الطاقة لإنتاجها. ومع ذلك ، فإن مزيج الألياف النباتية مع معجون الأسمنت يطرح عددًا من المشكلات في الحالة الجديدة والمتصلبة. يتم تطبيق علاجات مختلفة على ألياف أشجار النخيل بطرق مختلفة لتحسين الخواص الريولوجية لملاط الأسمنت ومخاليط الألياف . وبالتالي ، فإن يتم تقييم آثار هذه العلاجات على خصائص الألياف. يتم تقييم الخصائص الريولوجية لمخاليط الأسمنت والخصائص الميكانيكية للمركبات الأسمنتية.

أظهرت النتائج تحسنا في خواص الألياف ، وسلوك ريولوجي أفضل لمخاليط الأسمنت ، وزيادة في القوة الميكانيكية للمركبات ، وانخفاض في معامل امتصاص الماء عن طريق الشعيرات الدموية

الكلمات المفتاحية : ألياف شجرة النخيل ، علاج الغليان ، معالجة هيدروكسيد الصوديوم ، العلاج بزيت الكتان.

Table des matières

Résumé	i
Abstract	ii
ملخص	iii
Table des matières	iv
Table des figures	vii
Liste des tableaux	ix
INTRODUCTION GÉNÉRALE	2

CHAPITRE I

COMPOSITES CIMENTAIRES FIBRÉS ; REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. INTRODUCTION	7
2. LES DIFFÉRENTS TYPES DE FIBRES	7
2.1. Les fibres métalliques.....	7
2.2. Les fibre de carbone	8
2.3. Les fibres synthétiques	8
2.4. Les fibres de verre	8
3. LES FIBRES VÉGÉTALES	9
3.1. Généralités sur le palmier dattier	9
3.2. Morphologie du palmier dattier.....	10
3.3. Structure simplifiée d'une fibre végétale	11
3.4. Composition chimique des fibres végétales	13
3.5. Propriétés hygroscopiques.....	15
3.6. Propriétés mécaniques	15
4. EFFETS DES FIBRES SUR LES COMPOSITES CIMENTAIRES	16
4.1. Effets des fibres à l'état frais.....	16
4.2. Effets des fibres à l'état durci.....	17
5. AMELIORATION DES CARACTERISTIQUES DES COMPOSITES PAR TRAITEMENT DES FIBRES	22
5.1. Traitement chimique	22

5.2. Traitement par enrobage organique à l'huile de lin	24
6. CONCLUSION	24

CHAPITRE II

MATÉRIAUX UTILISÉS ET MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

1. INTRODUCTION	29
2. CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS	29
2.1. Le ciment.....	29
2.2. Le sable	30
2.3. Les fibre du palmier dattier	31
2.4. Superplastifiant.....	32
2.5. Eau de gâchage.....	32
3. TRAITEMENT DES FIBRES DE PALMIER DATTIER	33
3.1. Traitement par ébullition des fibres	33
3.2. Traitement à l'hydroxyde de sodium (NaOH)	33
3.3. Traitement d'enrobage à l'huile de lin	34
4. MÉTHODE DE FORMULATION DES COMPOSITES CIMENTAIRES	35
4.1. Procédure de formulation	35
4.2. Préparation de la gâchée.....	37
4.3. Conservation des éprouvettes.....	37
5. MÉTHODES EXPÉRIMENTALES	38
5.1. Essais sur fibres de palmier dattier.....	38
5.2. Essais sur composites cimentaires fibrés.....	41
6. CONCLUSION	46

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET DISCUSSION SUR FIBRES ET MORTIERS FIBRÉS

1. INTRODUCTION	49
2. RÉSULTATS SUR FIBRES	49
2.1. Cinétique d'absorption d'eau	49
2.2. Effet du traitement des fibres sur les délais de prises.....	51
2.3. Résistance à la traction directe des fibres unitaires.....	53
3. RÉSULTATS SUR COMPOSITES CIMENTAIRES FIBRÉS	55
3.1. Propriétés à l'état frais.....	55
3.1.1. Effet du traitement des fibres sur la consistance des composites cimentaires.....	55
3.2. Propriétés à l'état durci	56
3.2.1. Porosité accessible à l'eau des mortiers	56
3.2.2. Comportement à la flexion 3 points	57

3.2.3. Résistance à la compression	59
3.2.4. Absorption d'eau par capillarité	60
4. CONCLUSION	60
CONCLUSION GÉNÉRALE	63
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	66
ANNEXES	
Annexe A : Fiche technique du ciment.....	74
Annexe B : Fiche technique du superplastifiant	75

Table des figures

1.1	Schématisation d'un palmier dattier.....	11
1.2	Schéma de principe de la structure d'une fibre végétale (Hearle, 1963)	12
1.3	Coupe transversal et vue tangentielle d'une fibre de palmier dattier au MEB (Amroune, 2016)	12
1.4	Molécule de la cellulose	13
1.5	Structure moléculaire d'une chaîne d'acide galacturonique (Sedan, 2007).....	14
1.6	Influence du diamètre de la fibre de lin sur la contrainte à rupture et le module d'Young (Baley, 2003).....	16
1.7	Temps d'écoulement de mortiers renforcés de fibres de lin (Le Hoang, 2013).....	17
1.8	Courbe de comportement d'un échantillon de pâte de ciment et d'un composite ciment/fibres végétales en flexion (Sedan 2007)	18
1.9	Influence du dosage et de la longueur des fibres de lin sur la résistance en flexion des composites cimentaires (Le Hoang et al.,2012).....	19
1.10	Evolution de la contrainte de rupture et du module de Young en flexion d'une pâte de ciment renforcée de fibres de chanvre en fonction de la teneur en fibres (Sedan, 2007)	20
1.11	Influence du dosage et de la longueur des fibres de jute sur la résistance en compression du composite cimentaire (Mansur et Aziz, 1982).....	20
1.12	Influence du taux de fibres de lin sur la résistance en compression du mortier (Chafei, 2014).....	21
1.13	Comparaison des cinétiques initiales d'absorption(Merzoud, 2007)	22
2.1	Sable de dunes (0/2)	30
2.2	Courbes granulométriques du sable (0/2).....	31
2.3	Fibres de palmier dattier à l'état brut	31
2.4	Préparation des fibres de palmier dattier	32
2.5	Différentes épates du traitement par ébullition	33
2.6	Différentes épates du traitement alcalin à l'hydroxyde de sodium	34
2.7	Différentes épates du traitement d'enrobage à l'huile de lin.....	35
2.8	Détermination du point de saturation du super plastifiant	36
2.9	Conservation des éprouvettes.....	38
2.10	Suivi de la cinétique d'absorption des fibres de palmier dattier	39
2.11	Microscope optique Nikon Eclipse LV100ND	40
2.12	Mesure du diamètre des fibres de palmier dattier unitaires par microscopie.....	40
2.13	Essais de traction directe sur une fibre de palmier dattier.....	41
2.14	Etalement à la table à secousses	41
2.15	Mesure de la masse volumique réelle	42
2.16	Détermination des délais de prise avec l'Appareil de Vicat	43
2.17	Essai de traction par flexion 3 points	43

2.18	Presse hydraulique pour l'essai de compression	44
2.19	Essai d'absorption d'eau par capillarité	44
2.20	Essai de porosité accessible à l'eau	46
3.1	Cinétique d'absorption d'eau des fibres de palmier dattier : a-traitement à l'ébullition, b- traitement à l'hydroxyde de sodium, c- traitement à l'huile de lin .	50
3.2	Délais de prise pour différents mélange de ciment : a-traitement à l'ébullition, b- traitement à l'hydroxyde de sodium, c- traitement à l'huile de lin	52
3.3	Variation de la contrainte maximale en traction : a-traitement à l'ébullition, b- traitement à l'hydroxyde de sodium, c- traitement à l'huile de lin	54
3.4	Consistances des composites cimentaires	55
3.5	Influence du traitement des fibres sur la porosité accessible à l'eau des mortiers..	56
3.6	Influence du traitement des fibres sur les résistances à la flexion 3 points des mortiers.....	57
3.7	Courbes de comportement en flexion 3 points des mortiers MFHS à 7, 14 et 28 jours.....	58
3.8	Influence du traitement des fibres sur les résistances à la compression des mortiers.....	59
3.9	Influence du traitement des fibres sur l'absorption d'eau par capillarité des mortiers.....	60

Liste des tableaux

1.1	Différentes caractéristiques des fibres utilisées dans les matériaux cimentaires	8
1.2	Différentes variétés de palmier dattier en Algérie (Sidab, 2015).....	10
1.3	Caractéristiques physiques de différentes fibres végétales (Baley, 2013b)	12
1.4	Composition chimique de différentes fibres végétales (Dittenber et GangaRao, 2012).....	14
1.5	Coefficient d'absorption d'eau de différentes fibres végétales (Page, 2017).....	15
2.1	Composition chimique du ciment et minéralogique du clinker en (%).....	29
2.2	Caractéristiques physique et mécanique	29
2.3	Caractéristiques physiques du sable	30
2.4	Analyse chimique du sable en (%)	30
2.5	Caractéristiques physico-mécaniques des fibres de palmier dattier	32
2.6	Caractéristiques techniques d'adjuvant (Poly flow SR 3600).....	32
2.7	Composition du mortier de base (Boukour et al., 2016)	35
2.8	Composition des mortiers d'étude.....	36
2.9	Protocole de malaxage du mortier non fibré	37
2.10	Protocole de malaxage des mortier fibrés	37
2.11	Plages de consistances des mortiers	42

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les matériaux composites sont utilisés dans de nombreux domaines que ce soit aérospatial, aéronautique, automobile (panneaux intérieurs, planchers de camions, etc....), et encore la médecine et même dans le domaine de la construction (profilés de portes et de fenêtres, clôtures, bardages) où encore dans l'équipement domestique (meubles de jardin par exemple), une des applications techniques les plus réussies dans le génie civil est le renforcement des matrices cimentaires tels que les mortiers et les bétons.

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 par les fibres végétales à un avenir prometteur est spécialement pour les pays de tiers-monde, qui possèdent d'énorme quantité de ces fibres, mais aussi à cause du problème que pose actuellement l'utilisation des fibres d'amiante sur la santé humaine.

L'utilisation des fibres végétales (paille, palmier dattier, lin, chanvre, le jute, coco...), comme un renfort dans les matériaux a été étudiée avec beaucoup d'intérêt au cours des dernières décennies, dans la construction est très répandue dans les pays développés pour son impact écologique, et surtout économique.

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 chauds et secs, tel que la région saharienne de notre pays, dessèchent ces matériaux hydrauliques ce qui induit des retraites importants et des fissurations précoces dans les structures. Le renforcement des bétons par des fibres peut offrir des solutions techniques pour l'amélioration des performances mécaniques, notamment leurs résistances à la traction et à la fissuration.

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

L'objectif de ce travail consiste à apporter une modeste contribution à la valorisation des fibres végétales issue des palmiers dattiers qui est l'une des ressources locale les plus répandue en Algérie. Ecologique, économique et renouvelable, les fibres de palmier dattier pourraient être une alternative aux fibres synthétiques de polypropylène. Le but de ce travail est d'essayer d'améliorer le mode d'incorporation de ces fibres dans des matrices cimentaires par le moyen d'un traitement préalable de la fibre afin de tirer profit au maximum des propriétés de la fibre. Afin de rester le plus économiquement possible, on a choisie trois traitement qui sont les plus répandue dans la littérature : le traitement par ébullition, le traitement à l'hydroxyde de sodium et enfin le traitement par l'huile de lin.

Pour faire aboutir notre démarche, le présent mémoire est structuré sur trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la revue bibliographique sur les composites biofibrés, on y aborde en premier les fibres végétales en générale et les fibres de palmier dattier en particulier, leur morphologie, leur structure et leur composition chimique va être exposés ainsi

que leurs propriétés mécaniques. Dans un second temps, on présente l'effet des fibres végétales sur les composites cimentaires et on termine ce chapitre par les différents traitements qui vont être utilisés dans cette étude.

Le deuxième chapitre présente la caractérisation des matériaux utilisés pour ce travail, les différents traitements des fibres de palmier dattier sont aussi exposés. L'approche de formulation qui servira à l'élaboration du mortier témoin a été détaillée. Et enfin, les méthodes expérimentales employées pour faire aboutir notre travail.

Le dernier chapitre comprend les résultats obtenus au cours de cette étude, dans un premier temps sur les fibres seules ensuite sur les composites cimentaires biofibrés à l'état frais et durci. Suivi de leurs interprétations qui vont nous éclaircir sur le rôle joué par le traitement des fibres sur les propriétés des mortiers.

Ce mémoire s'achève par une conclusion générale, dont laquelle on rappelle les principaux résultats obtenus durant cette étude.

CHAPITRE I

COMPOSITES CIMENTAIRES FIBRÉS ; REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

COMPOSITES CIMENTAIRES FIBRÉS ; REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Ce premier chapitre est un bilan bibliographique, on y présente une étude détaillée sur les effets des fibres végétales sur les propriétés de mortier leurs caractérisations mécaniques, chimiques, physiques et structurales du renfort ainsi que le comportement mécanique des composites. On termine ce chapitre par l'amélioration des propriétés des fibres végétales par les différents traitements chimiques et d'enrobage organique qui seront étudiées en troisième chapitre.

Sommaire

1. INTRODUCTION	7
2. LES DIFFÉRENTS TYPES DE FIBRES	7
2.1. Les fibres métalliques	7
2.2. Les fibre de carbone.....	8
2.3. Les fibres synthétiques	8
2.4. Les fibres de verre	8
3. LES FIBRES VÉGÉTALES	9
3.1. Généralités sur le palmier dattier	9
3.2. Morphologie du palmier dattier	10
3.3. Structure simplifiée d'une fibre végétale.....	11
3.4. Composition chimique des fibres végétales	13
3.4.1. La cellulose	13
3.4.2. Hémicelluloses	13
3.4.3. Lignine	14
3.4.4. Pectines	14
3.4.5. Cires, graisses et lipides	14
3.5. Propriétés hygroscopiques	15
3.6. Propriétés mécaniques	15
4. EFFETS DES FIBRES SUR LES COMPOSITES CIMENTAIRES	16
4.1. Effets des fibres à l'état frais	16

4.2. Effets des fibres à l'état durci	17
4.2.1. Facteurs influents	17
4.2.2. Comportement en flexion d'un composite cimentaire fibré	18
4.2.3. Comportement en compression d'un composite cimentaire fibré	20
4.2.4. Absorption capillaire d'un composite cimentaire fibré.....	21
5. AMELIORATION DES CARACTERISTIQUES DES COMPOSITES PAR TRAITEMENT DES FIBRES	22
5.1. Traitement chimique	22
5.1.1. Traitement à l'hydroxyde de sodium	22
5.1.2. Traitement à l'eau bouillante	23
5.2. Traitement par enrobage organique à l'huile de lin.....	24
6. CONCLUSION	24

Chapitre I Composites cimentaires fibrés ; revue bibliographique

1. INTRODUCTION

Le renforcement des matériaux cimentaire par les fibres végétales est relativement nouveau par rapport à celui des fibres métalliques ou synthétique. La caractérisation de ce nouveau matériau composite nécessite alors, la multiplication des recherches et d'essais, ainsi que le développement de nouveaux procédés d'expérimentation.

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 des fibres comme matériau de renfort dans les matrices cimentaires. Depuis, 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, à limiter et à contrôler la fissuration sous sollicitations mécaniques et à 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, polymères, de carbone et récemment végétales.

Le renforcement par les fibres végétales peut avoir un avenir prometteur pour les avantages qu'elles présentent : économiques, renouvelables, écologiques dans le sens où elles sont neutres vis-à-vis des émissions de CO₂ et demandent peu d'énergie pour leur fabrication.

L'Algérie est parmi les pays, qui dispose d'extraordinaires et diverses ressources en fibres végétales (de palmier, d'Alfa et de Diss...), qui peuvent faire l'objet d'un emploi comme renfort dans les matrices cimentaires d'ailleurs, la fibre de palmier dattier a toujours été utilisée pour renforcer les matrices argileuses utilisées dans les anciennes constructions en terre dont la durabilité n'est plus à prouver.

2. LES DIFFÉRENTS TYPES DE FIBRES

Des fibres de différentes natures sont utilisées dans le renforcement des matrices cimentaires. Les propriétés qu'on souhaite améliorer ou le comportement qu'on désire obtenir ainsi que le coût, dictent le choix du type de fibre ainsi ses caractéristiques géométriques et dimensionnelles.

2.1. Les fibres métalliques

Les fibres métalliques, généralement en acier, ont été les premières à être utilisées et sont majoritairement employées lorsque l'aspect structural prédomine. L'acier possède une limite élastique élevée qui lui permet de résister à des efforts internes importants. L'acier possède un module élastique de 5 à 8 fois celui du béton ce qui permet aux fibres de reprendre les efforts en traction du béton à de faibles ouvertures de fissures.

2.2. Les fibre de carbone

Les fibres de carbone gagnent en popularité au fur et à mesure que leur coût décroît et que la demande en béton alliant ductilité et bonnes résistances mécaniques augmente (Chang, 2000). Elles apportent des caractéristiques structurales semblables aux fibres de polymère, de verre et métallique. Elles ont de plus l'avantage d'être inertes chimiquement et d'avoir une excellente conductibilité électrique au niveau du matériau, semblable à celle de l'acier, mais elles combinent cette propriété avec un diamètre typique d'environ cinq fois plus faible, ce qui amène à une meilleure conductibilité électrique aux bétons renforcés de fibres de carbone. Ce résultat peut être mis à contribution si on décide d'utiliser une protection cathodique pour les armatures (Chang, 2000).

2.3. Les fibres synthétiques

Les fibres de polymère, comme le nylon et les polypropylènes, ne sont pas trop coûteuses ce qui valorise leur utilisation. Elles ont plus particulièrement été utilisées à de faibles taux volumiques, inférieur à 0,3%, selon (Alhozaimy et al., 1996 ; Flores Medina et al., 2015 ; Saeid et al., 2016) pour augmenter la résistance post-fissuration et la ductilité. Notons seulement ici que le nylon possède une limite élastique de 900 MPa environ deux fois supérieure à celle des polypropylènes (415 MPa) bien que ces dernières soient plus utilisées en technologie du béton.

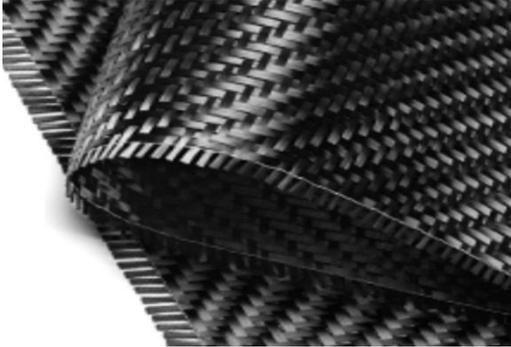
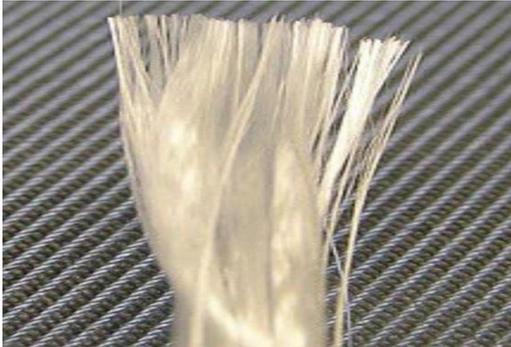
2.4. Les fibres de verre

Le verre sous forme massive est caractérisé par une très grande fragilité, attribuée à une sensibilité élevée à la fissuration. Par contre, élaboré sous forme de fibres de faible diamètre (quelques dizaines de microns), le verre perd ce caractère et possède alors de bonnes caractéristiques mécaniques (Baron et Ollivier, 1996). Ces fibres ont été utilisées par Barluenga et Hernandez-Olivares (Barluenga et Hernandez-Olivares, 2007) pour contrôler la propagation des fissures dans les bétons au jeune âge.

Le tableau 1.1 résume les principales caractéristiques des différents types de fibre cités aux paragraphes précédents.

Tableau 1.1. Différentes caractéristiques des fibres utilisées dans les matériaux cimentaires

Les différents type de fibres		Les caractéristiques
Fibre métallique		<ul style="list-style-type: none"> • Très bonne compatibilité avec le béton • Améliorer l'adhérence au béton • Module d'élasticité élevée • Meilleure résistance à la traction varie de 1 à 3 GPa • Densité (7.8 g/m³) • L'allongement de rupture varie de 3 à 4% • Longueur des fibres varie de 25 à 60 mm • Diamètre varie de 0.5 à 1.3 mm

Fibre de carbone		<ul style="list-style-type: none"> • Grande rigidité (module de Young) • Une excellente résistance à la traction 2 à 3 GPa • Sa capacité à conduire l'électricité • Extraordinaire résistance à la fatigue • Diamètre varie de 5 à 9 μm • Densité varie de 1.7 à 2g /m³ • Allongement de rupture varie de 0.5 à 1.5 %
Fibre polypropylène		<ul style="list-style-type: none"> • Diamètre varie de 10 à 200 μm • Densité égale à 0.9 g/m³ • Résistance à la traction varie de 0.4 à 0.7 GPa • Allongement de rupture varie de 15 à 25 %
Fibre de verre		<ul style="list-style-type: none"> • Bonne adhérence avec la matrice • Disponibilité dans toutes les formes (coupées, continues, ...) • Bonne résistance à l'humidité et à la corrosion • Conductivité thermique relativement faible • Diamètre varie de 5 à 20 μm • Densité 2.6g /m³ • Module d'élasticité 80Gpa • Résistance à la traction varie de 1.5-3Gpa • Allongement de rupture 80 %

3. LES FIBRES VÉGÉTALES

3.1. Généralités sur le palmier dattier

Le palmier-dattier, comme le précise son nom, appartient à une grande famille d'arbres à palmes et produit des dattes. Le palmier dattier est aussi *date palm* en anglais, *NakhilouTamren* arabe. Mais, dans tous les pays, il porte le même nom latin, *Phoenixdactylifera*, qui est un terme générique, utilisé par les grecs pour dénommer les plantes de ce genre. Celui-ci est dérivé de (*phoenix= phénicien*), car sa serait justement les phéniciens qui auraient diffusé cette plante. Le terme spécifique est composé de (*dactylus= dattes*) du grec *dactylo* et (*fero= je porte*), soit porteur de dattes (Guglielmoet *al.*, 2002).

L'Algérie est un pays phoenicicole classé au septième rang mondial et au premier rang dans le Maghreb pour ses grandes étendues de culture sur plus 160 000 ha dans plus de 2 millions de

jardins et sa production annuelle moyenne de dattes de 500 000 tonnes (Aberlenc-Bertossi, 2010). Le palmier dattier en Algérie est établi en plusieurs oasis réparties sur le sud du pays ou le climat est chaud et sec (zone saharienne). Sa culture s'étend depuis la frontière Marocaine à l'ouest jusqu'à la frontière tuniso-libyenne à l'est et depuis l'Atlas Saharien au nord jusqu'à Reggane (sud-ouest), Tamanrasset (centre) et Djanet (sud-est).

Le nombre de palmier dattier actuelle est supérieur à 18 millions d'arbres (Sidab, 2015), avec plus de 800 variétés. Le tonnage de la partie consommable des palmes sèches est environ de 135103 tonnes de palmes sèches / an, les pédicelles des dattes est environ de 5 103 tonnes de pédicelles / an, avec 67 500 tonnes de rebuts de dattes (Kareche, 2014).

Au plan mondial, l'Algérie se classe à la 7^{ème} position en termes de production derrière l'Egypte (1^{er} producteur mondial), l'Iran, l'Arabie Saoudite, les EAU, l'Irak et le Pakistan. L'Algérie produit environ 10% de la production mondiale des dattes répartie dans les différentes régions de production (Tableau 1.2).

Tableau 1.2. Différentes variétés de palmier dattier en Algérie (Sidab, 2015)

Wilaya	Superficie (hectare)	Nombre Palmiers dattiers	Production en quintal
Biskra	42 000	4 213 000	2 917 180
El Oued	36 200	3 730 000	2 022 870
Adrar	27 700	3 705 000	865 080
Ouargla	21 400	2 507 000	1 131 300
Béchar	13 900	1 591 000	239 240
Ghardaïa	10 500	1 214 000	470 000
Tamanrasset	7 000	689 000	108 590
Illizi	1 200	126 000	15 580
El Bayadh	920	78 000	6 810
Tebessa	810	61 000	18 000
Khenchela	750	122 000	58 900
Naâma	500	51 000	8 800
Tindouf	430	45 000	6 080
Laghouat	310	33 000	10 860
Batna	190	29 000	12 790
Djelfa	100	9 000	1 500
Total	163 910	18 203 000	7 893 580

3.2. Morphologie du palmier dattier

Le palmier dattier appartient à la classe des monocotylédones (une feuille embryonnaire dans la graine). Les monocotylédones ont une organisation différente, ils n'ont pas de cambium (une couche mince située entre le bois et l'écorce), alors que le bois de palmier présentant une structure et des propriétés bien différentes de celle des autres arbres (Kareche, 2014 ; Benmansour, 2011). En effet, le palmier est une herbe géante de 20 à 30 m de hauteur (figure I.1), au tronc cylindrique (le stipe), portant une couronne de feuilles pennées, divisées avec une longueur de 4 à 7 m. Il porte des inflorescences mâles ou femelles (Alaoui, 2005).

Le palmier dattier produit entre 5 à 15 bouquets de dattes par arbre. Chaque bouquet peut contenir jusqu'à 1000 dattes correspondant à un poids approximatif entre 6 à 8 Kg. un arbre

de palmier commence à produire des dattes à partir de 3 ans, mais généralement entre 3 à 5 ans. Il peut rester vivant et productif pendant 150 ans environ (Alaoui, 2005). La forme, la taille et la couleur des fruits varient selon la variété. La figure 1.1 désigne les différentes parties d'un palmier dattier.

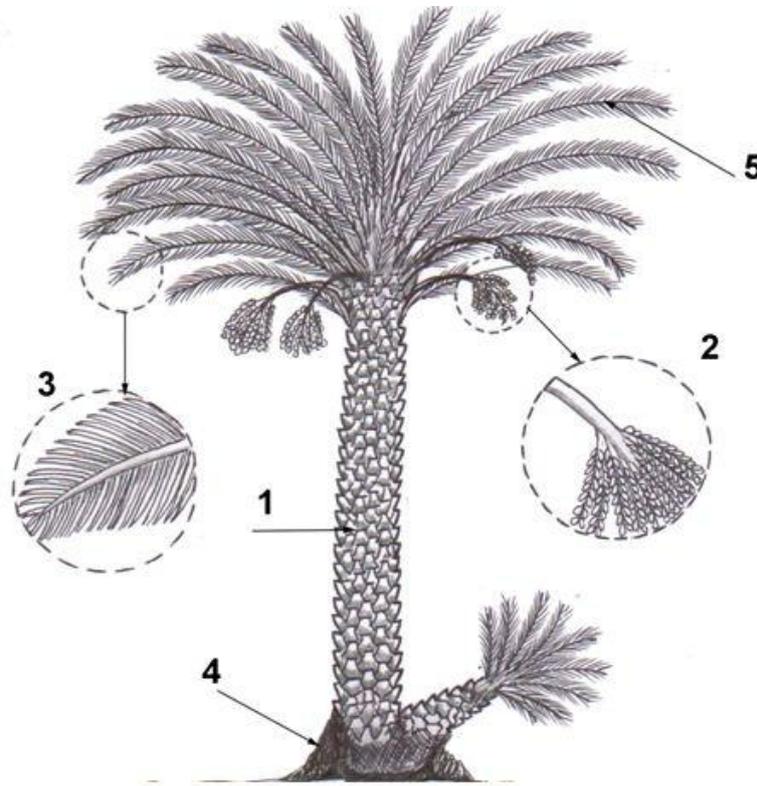


Figure 1.1. Schématisation d'un palmier dattier

Le palmier dattier a une structure fibreuse, possédant cinq types de fibres (Kriker, 2005) :

- (1) : fibres de bois du tronc ;
- (2) : fibres de tige au niveau des tiges des pédoncules et du support dattier (grappe) ;
- (3) : fibres de feuilles au niveau des pédoncules ;
- (4) : fibres de surface autour de son tronc ou de base de palmes (pétiole) ;
- (5) : fibres de liffes (entre les Kornaf, le tronc est recouvert d'une bourre fibreuse que l'on appelle le liffes).

3.3. Structure simplifiée d'une fibre végétale

En première approche, une fibre végétale peut être assimilée à un matériau composite renforcé par des fibrilles cellulosiques (Hearle, 1963). La matrice est composée principalement d'hémicelluloses, de pectines et de lignine. Les fibrilles de cellulose seraient disposées en spirale selon l'axe de la fibre, formant ainsi un angle, appelé angle microfibrillaire (Figure 1.2). Généralement dans un composite, ce sont le taux et l'orientation des fibres ainsi que les propriétés physiques des fibres et de la matrice qui conditionnent les propriétés mécaniques. De la même façon, pour une fibre végétale, les paramètres les plus influents sur le comportement mécanique sont le taux de cellulose (le matériau le plus rigide dans la fibre), l'angle microfibrillaire, la composition biochimique ainsi que les propriétés des

polysaccharides assurant le transfert des efforts sur les microfibrilles (Bledzki, 1999). Ainsi, pour un même taux de cellulose, plus l'angle microfibrillaire est faible, plus la rigidité et la résistance mécanique de la fibre sont élevées. Cependant, plus l'angle microfibrillaire est élevé, plus l'allongement à la rupture est grand.

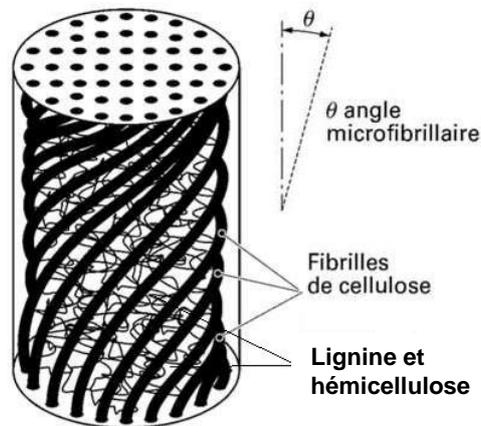


Figure 1.2. Schéma de principe de la structure d'une fibre végétale (Hearle, 1963)

Le Tableau 1.3 présente les caractéristiques physiques de plusieurs types de fibres végétales. Le rapport L/D est un paramètre important afin de permettre le transfert des efforts entre fibres et matrice dans les matériaux composites à renfort de fibres discontinues (Baley, 2013a).

Tableau 1.3. Caractéristiques physiques de différentes fibres végétales (Baley, 2013b)

Nature des fibres	Cellulose (%)	Angle microfibrillaire	Diamètre (µm)	Longueur (mm)	Rapport L/D
Lin	64 – 71	10°	5 – 40	4 – 80	2000
Chanvre	83	7,5°	10 – 60	40 – 170	3000
Jute	61 – 71	8°	25 – 200	3	110
Sisal	67 – 78	20°	7 – 27	1 – 8	170
Coco	43	45°	12 – 24	1 – 4	100

La figure 1.3 présente une coupe transversal et une vue tangentielle d'une fibre de palmier dattier obtenue par microscope électronique à balayage (MEB).

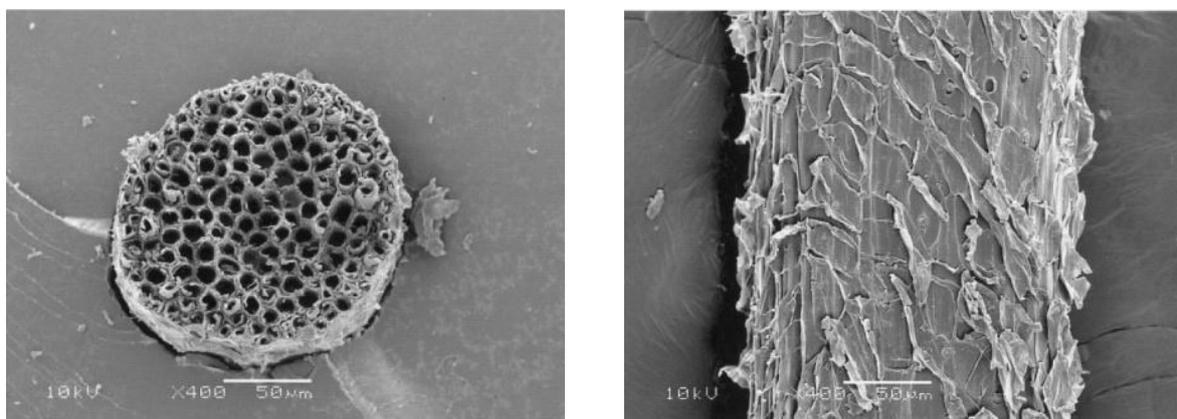


Figure 1.3. Coupe transversal et vue tangentielle d'une fibre de palmier dattier au MEB (Amroune, 2016)

3.4. Composition chimique des fibres végétales

La cellulose, l'hemicellulose et la lignine constituent les composants majeurs des fibres végétales. leurs teneurs varient d'une espèce à une autre. Pour le même type de fibre, la composition chimique dépend de l'état de la maturité de l'espèce, de l'organe de provenance de la fibre, des conditions climatiques et des conditions d'extraction utilisées pour l'obtention des fibres (Bledzki et Gassan, 1999 ; Reddy et Yang, 2005).

3.4.1. La cellulose

La cellulose est un polymère existant à l'état naturel qui est le constituant principal des fibres végétales. La cellulose est une molécule formée de longues chaînes dont le motif de base est le glucose (figure 1.4). Le degré de polymérisation (DP) est d'environ 10 000, il varie selon l'espèce végétale. Ces polymères sont liés entre eux par des liaisons intermoléculaires de type hydrogène, servant ainsi de base à la formation des microfibrilles. Toutes les propriétés de la cellulose sont étroitement liées à la forte densité des liaisons hydrogènes qui se développent entre les chaînes.

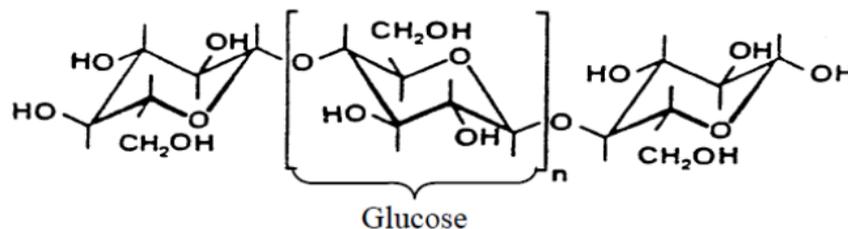


Figure 1.4. Molécule de la cellulose

La cellulose n'est pas hydrosoluble mais est fortement hydrophile, dans les conditions normales d'utilisation, elle peut contenir jusqu'à 70% d'eau plus ou moins liée. Le remplacement d'une partie des interactions inter-chaînes par des liaisons hydrogènes entre la cellulose et l'eau provoque une plastification du matériau et donc une diminution de ses caractéristiques mécaniques. Alors que la contrainte à la rupture des fibres de cellulose très cristalline peut atteindre 700 MPa à sec, elle peut perdre jusqu'à 30% de sa valeur en atmosphère humide. La cellulose est résistante aux alcalins forts, mais est facilement hydrolysée par les acides (Maya et Sabu, 2010).

3.4.2. Hémicelluloses

Les hémicelluloses sont des polysaccharides à chaînes principales courtes et ramifiées. Les monomères les constituants sont le glucose mais également le xylose, le mannose, le galactose, le rhamnose et l'arabinose (Charlet, 2008). Les hémicelluloses sont amorphes et possèdent un degré de polymérisation bien inférieur à la cellulose : entre 50 et 800 (Alix, 2009; Bledzki, 1999). Ce faible poids moléculaire explique leur faible résistance aux attaques chimiques. En effet, ces polysaccharides sont solubles dans l'eau et peuvent être extraits des cellules végétales par des solutions alcalines. De plus, les hémicelluloses sont fortement hydrophiles (qui absorbent de l'eau) du fait de leurs nombreuses ramifications (Baley, 2003).

3.4.3. Lignine

La lignine est un polymère qui se situe entre les microfibrilles de cellulose et d'hémicellulose jouant le rôle d'un liant qui permet de les fixer les uns aux autres afin de former la paroi cellulaire. C'est l'élément qui donne la rigidité aux plantes (Mohanty *et al.*, 2005). Elle est totalement amorphe, hydrophobe (insoluble dans l'eau ou n'a pas la capacité de créer des liaisons hydrogène avec les molécules d'eau).

3.4.4. Pectines

Les pectines sont des polysaccharides à structure complexe composée d'une chaîne principale et de chaînes secondaires (Batra, 2006; Hourdet et Muller, 1991). Elles sont principalement composées d'acides galacturoniques (Figure 1.5). Les pectines sont situées dans la lamelle mitoyenne et la paroi primaire de la cellule végétale ; elles jouent le rôle de liant entre les différentes cellules. Les pectines peuvent être extraites de la fibre par une méthode chimique : soit à l'eau bouillante (Rihouey *et al.*, 1995), soit par l'acide éthylène diamine tétracétique (EDTA) (Davis *et al.*, 1990). De plus, les pectines ont également la capacité d'échanger des ions, en particulier les ions calcium. Ainsi, elles peuvent se relier entre elles grâce à cet échange d'ions calcium pour former des ponts calciques.

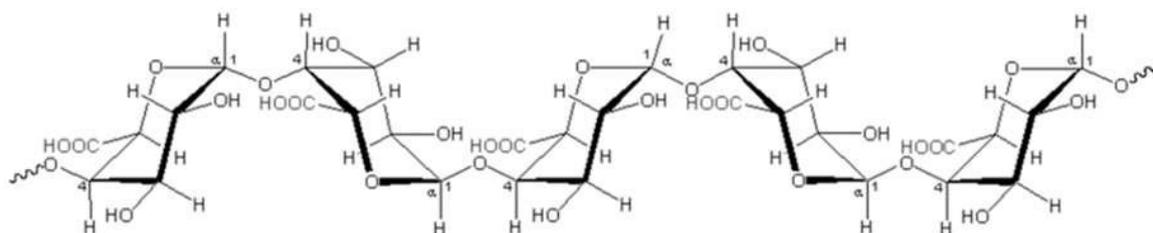


Figure 1.5. Structure moléculaire d'une chaîne d'acide galacturonique (Sedan, 2007)

3.4.5. Cires, graisses et lipides

Les graisses et les huiles sont les principales formes de stockage d'énergie de beaucoup d'organismes vivants. Les cires biologiques sont des esters constitués de longues chaînes d'alcools. La proportion de ces constituants est relativement faible dans les plantes à fibres : quelques pourcents au maximum (Amziane et Arnaud, 2013).

Le tableau 1.4 regroupe les compositions chimiques des différents types de fibres végétales.

Tableau 1.4. Composition chimique de différentes fibres végétales (Dittenber et GangaRao, 2012)

Type de fibre	Cellulose (%)	Hémicellulose (%)	Lignine (%)	Pectine (%)	Cires (%)	Angle micro fibrillaire (°)
Abaca	56-63	20-25	7-13	1	3	-
Alfa	45.4	38.5	14.9	-	2	-
Bagasse	32-55.2	16.8	19-25.3	-	-	-
Bambou	26-65	30	5-31	-	-	-
Banane	63-67.6	10-19	5	-	-	-
Coir	32-43.8	0.15-20	40-45	3-4	-	30-49
Coton	82.7-90	5.7	<2	0-1	0.6	-
Ananas	70.7-73.6	9.9	7.5-11.1	-	-	-

Lin	62-72	18.6-20.6	2-5	2.3	1.5-1.7	5-10
Chanvre	68-74.4	15-22.4	3.7-10	0.9	0.8	2-6.2
Agave	60-77.6	4-28	8-13.1	-	0.5	-
Isora	74	-	23	-	1.09	-
Jute	59-71.5	13.6-20.4	11.8-13	0.2-0.4	0.5	8.0
Kénaf	31-72	20.3-21.5	8-19	3-5	-	-
Ortie	86	10	-	-	4	-
Palmier à l'huile	60-65	-	11-29	-	-	42-46
Ramie	68.6-85	13-16.7	0.5-0.7	1.9	0.3	7.5
Sisal	60-78	10.0-14.2	8.08-14	10.0	2.0	10-22
Palmier	32 -36	24,5 -28,0	26,7 -28,1	-	7	-

3.5. Propriétés hygroscopiques

Contrairement aux fibres de verre, les fibres végétales piègent l'eau entre les microfibrilles du fait de la présence des hémicelluloses. Ce caractère hydrophile est une caractéristique importante à prendre en compte pour les fibres végétales. Le comportement des fibres de palmier dattier vis-à-vis de l'eau pourra avoir des conséquences sur le comportement des composites cimentaires à l'état frais comme à l'état durci. Le tableau 1.5 synthétise les coefficients d'absorption d'eau des fibres végétales les plus couramment utilisées comme renfort de composites. Les valeurs présentées ci-dessous correspondent à des valeurs d'absorption d'eau de fibres végétales après 24 heures d'immersion.

Tableau 1.5. Coefficient d'absorption d'eau de différentes fibres végétales (Page, 2017)

Nature des fibres	Absorption (%)
Lin	136 ± 25 %
	152 ± 7 %
Chanvre	158 ± 30 %
Jute	281 %
Sisal	201 %
	200 %
	230 ± 16 %
Coco	146 %
	100 ± 19,5 %
	180 %
Palmier dattier	97 – 203 %

Magniont a réalisé un essai de suivi de la cinétique d'absorption d'eau sur des fibres de lin et de chanvre (Magniont, 2011). L'auteur constate dans un premier temps que le coefficient d'absorption d'eau des fibres végétales est très élevé. Les fibres peuvent absorber une masse d'eau supérieure à leur masse propre. De plus, les fibres végétales atteignent rapidement la saturation au bout de 30 minutes.

3.6. Propriétés mécaniques

Il est très difficile de présenter un tableau qui répertorie toutes les propriétés des fibres végétales. 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 confère à ces matériaux des propriétés mécaniques spécifiques intéressantes. Les fibres longues ont des résistances en traction plus faibles que les fibres courtes (Kriker, 2005), du fait que les premières ont de plus grandes probabilités de contenir des défauts de formation.

Des études antérieures réalisées par Baley et Charlet ont mis en évidence un lien entre le diamètre de la fibre de lin et les caractéristiques mécaniques (Baley, 2003; Charlet *et al.*, 2007). En effet, le module d'élasticité et la contrainte à rupture décroissent lorsque le diamètre de la fibre augmente (Figure 1.6). Toutefois, aucune corrélation claire n'a été identifiée entre l'allongement à la rupture et le diamètre de la fibre. Cette dépendance des propriétés mécaniques au volume de matériau testé (ici le diamètre) s'explique au fait que, plus le volume sollicité est grand, plus il y a de chance d'y trouver un défaut de grande taille pouvant amener à la rupture. De plus, Baley a montré qu'une rupture prématurée de la fibre était due à la taille du plus gros défaut, et non au nombre de défauts (Baley, 2004).

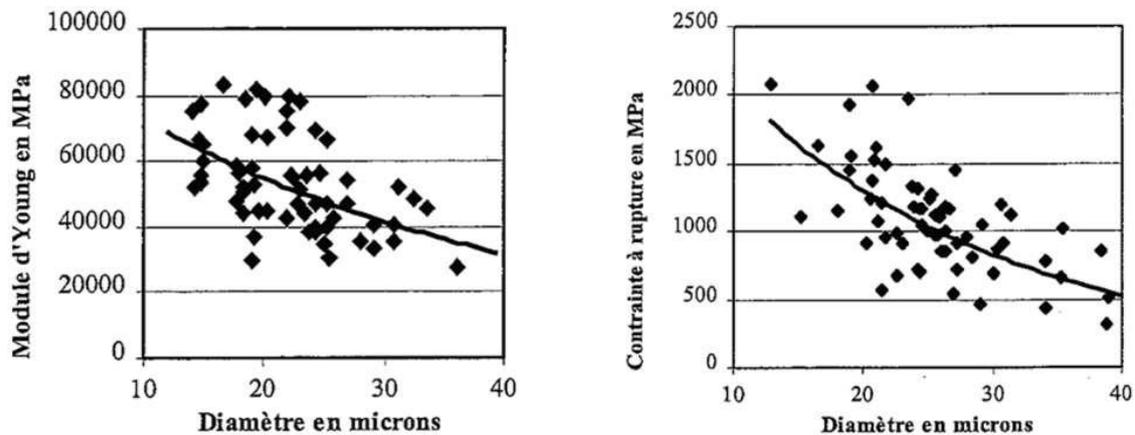


Figure 1.6.Influence du diamètre de la fibre de lin sur la contrainte à rupture et le module d'Young (Baley, 2003)

4. EFFETS DES FIBRES SUR LES COMPOSITES CIMENTAIRES

4.1. Effets des fibres à l'état frais

La maniabilité des mortiers et des bétons est l'une des principales propriétés à l'état frais. L'incorporation de fibres végétales non-traitées au béton conduit à une forte réduction de la maniabilité, due à l'absorption d'eau par les fibres. Cependant, le mélange doit être suffisamment maniable pour la mise en œuvre. Un mélange trop raide ou trop sec pourrait conduire à un produit final insuffisamment compacté, qui serait susceptible de contenir davantage de vides et/ou des nids d'abeille (réseau poreux). À l'inverse, un mélange trop humide conduira à une diminution des résistances mécaniques.

L'autre aspect important concernant la maniabilité est la formation de boulettes de fibres, c'est à-dire l'agglomération des fibres entre elles durant le malaxage. Le degré d'agglomération dépend du type et de la longueur des fibres utilisées, la fraction volumique de fibres, et de la dimension maximale de l'agrégat présent dans le composite cimentaire (Bentur, 2007). L'agglomération des fibres doit être évitée car elle a un effet néfaste sur la résistance.

Certaines dispositions peuvent être prises lors du malaxage afin de minimiser l'effet d'agglomération. Normalement, l'addition progressive des fibres à la fin de l'opération de malaxage, une fois les autres ingrédients mélangés, permet de réduire cet effet d'agglomération. L'utilisation d'un plastifiant réducteur d'eau permet également d'augmenter sensiblement la maniabilité, sans nuire aux performances mécaniques du composite (ACI, 1996; Chaféiet *al.*, 2015). De plus, selon Aziz, la diminution du dosage en granulat permet aussi de limiter la formation de boulettes (Aziz *et al.*, 1981).

Des mesures du temps d'écoulement sur des mortiers incorporant des fibres de lin ont montré que ce temps croît fortement avec l'augmentation du taux de fibres incorporées (Le Hoang, 2013). La Figure 1.7 présente les résultats obtenus lors de cette étude, pour des fibres d'une longueur de 30mm.

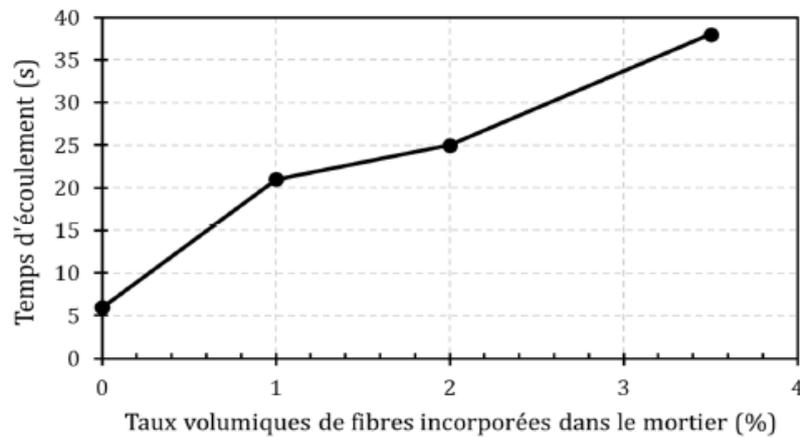


Figure 1.7. Temps d'écoulement de mortiers renforcés de fibres de lin (Le Hoang, 2013)

L'écoulement pour le mortier témoin sans fibres est de 6 secondes, ce qui correspond à une Maniabilité « ouvrage » au sens de la norme NF P18-452. Un mortier est considéré comme non utilisable avec les méthodes courantes de mise en œuvre pour un temps d'écoulement supérieur à 20 secondes. Pour tous les taux volumiques de fibres, le temps d'écoulement est supérieur à 20 Secondes. On note également que plus le taux de fibres augmente, plus le temps d'écoulement augmente aussi.

D'autres études se sont également intéressées à la rhéologie des mortiers incorporant des fibres de lin. Le même constat a pu être fait, à savoir une diminution de la maniabilité des mortiers avec l'augmentation du taux de fibres (Chafei, 2014; Chafeiet *al.*, 2012). Au-delà de 4 % de fibres en volume, le mélange devient quasiment impossible à mettre en œuvre avec les méthodes traditionnelles.

4.2. Effets des fibres à l'état durci

4.2.1. Facteurs influents

Les propriétés des bétons renforcés par des fibres végétales, comme les autres bétons fibrés, sont affectés par un nombre important de facteurs (ACI, 1996). Les principaux sont les suivants :

- type de fibre : lin, chanvre, sisal, jute, coir, bambou, bagasse, miscanthus, etc.

- morphologie de la fibre : longueur, diamètre, section transversale.
- configuration : fibre unitaire, faisceaux, brins.
- état de surface : lisse, rugueuse, présence d'un revêtement.
- propriétés de la matrice : type de ciment, type et granulométrie des granulats, adjuvants.
- proportions des différents constituants : rapport E/C, taux de fibres, proportion des granulats.
- méthode de malaxage : type de malaxeur, séquence d'ajout des constituants, méthode d'incorporation des fibres, vitesse et durée de malaxage.
- méthode de mise en œuvre : vibration standard, projection, extrusion.
- conditions de cure : air, humide.

4.2.2. Comportement en flexion d'un composite cimentaire fibré

Les études réalisées sur les matériaux composites incorporant des fibres végétales brutes mettent en évidence une modification du comportement mécanique du composite en flexion. Alors que la matrice cimentaire pure présente un comportement élastique linéaire fragile en flexion, les éprouvettes de composites bio fibrés n'ont pas un comportement fragile et continuent à supporter une charge significative après la charge maximale (Aziz *et al.*, 1981). Sedan a comparé les propriétés mécaniques d'une pâte de ciment et d'une matrice cimentaire incorporant des fibres de chanvre (16 % en volume). Pour cela, des essais de flexion trois points ont été réalisés sur ces deux matériaux après 28 jours de cure (Sedan *et al.*, 2008). La Figure 1.8 présente le comportement en flexion d'une pâte de ciment et d'une matrice renforcée par des fibres de chanvre.

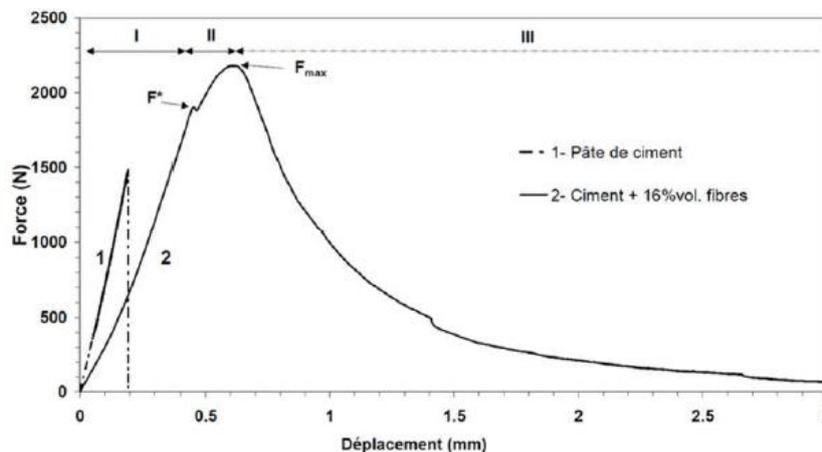


Figure 1.8. Courbe de comportement d'un échantillon de pâte de ciment et d'un composite ciment/fibres végétales en flexion (Sedan, 2007)

L'auteur distingue trois zones dans le comportement du composite bio fibré :

- Phase I : Comportement quasilineaire proche de celui de la pâte de ciment seule. Dans cette phase les efforts sont principalement supportés par la matrice ;
- Phase II : Apparition de la première fissure dans la matrice à partir de F^* . Ensuite, les efforts sont transmis aux fibres qui supportent la charge. D'après Sedan (Sedan, 2007), les fibres limitent également la propagation de la fissure par un effet de pontage ;

- Phase III : À partir de F_{max} , la charge diminue de façon contrôlée contrairement à la pâte de ciment qui rompt brutalement. L’auteur associe cette phase à une rupture progressive des interfaces fibre/matrice, suivie du déchaussement des fibres.

L’incorporation de fibres végétales modifie peu la charge d’apparition de la première fissure, qui est principalement liée aux caractéristiques de la matrice, notamment sa déformation ultime. Cependant, une fois la première fissure apparue, les fibres permettent de limiter la propagation (Aziz *et al.*, 1981). Le passage d’une matrice fragile à un composite fibré ductile présentant un comportement post-pic contrôlé est relevé par tous les auteurs. Cependant, cette modification du comportement n’est pas toujours accompagnée d’une amélioration de la résistance en flexion (Krikeret *et al.*, 2005).

Les performances du composite dépendent notamment du dosage et de la longueur des fibres (Figure 1.9). Le Hoang a étudié le renforcement de mortiers de ciment par des fibres de lin.

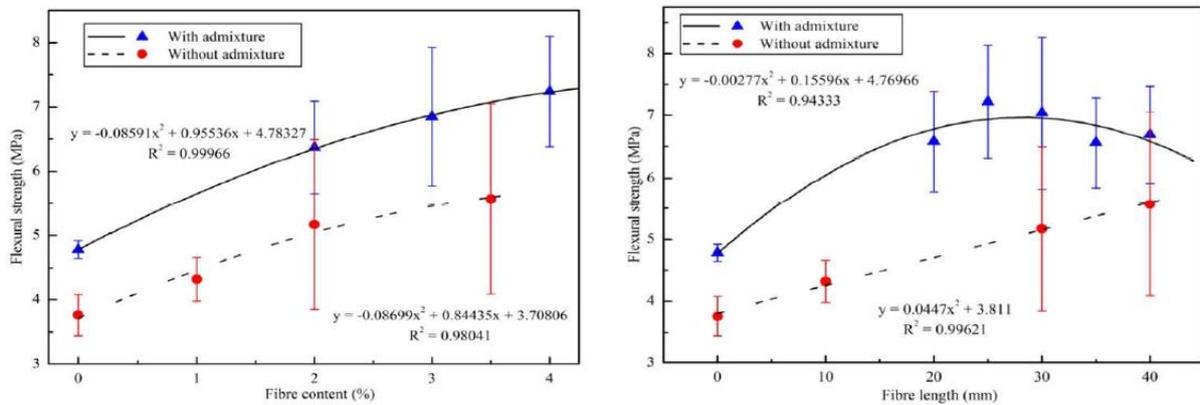


Figure 1.9. Influence du dosage et de la longueur des fibres de lin sur la résistance en flexion des composites cimentaires (Le Hoang *et al.*, 2012)

On peut noter sur la Figure 1.9 que les performances en flexion du composite sont dépendantes de la longueur et du dosage en fibres de lin. Dans un premier temps, plus la longueur des fibres est importante, plus la résistance en flexion est améliorée. Cependant, au-delà d’une longueur critique (environ 30 mm) les propriétés n’augmentent plus, et même, commencent à décroître. De la même manière, pour une même longueur de fibre, l’augmentation du dosage en fibres de lin permet l’amélioration des propriétés. On ne relève pas ici de seuil maximal de taux de fibres pour la résistance en flexion.

Le dosage optimal et la longueur optimale des fibres dépendent du type de fibres et de la méthode de mise en œuvre. D’autres auteurs ont étudié le renforcement d’une pâte de ciment par des fibres de coco et relève une amélioration optimale des propriétés pour un dosage volumique de 4% et une longueur de fibres de 38 mm (Aziz *et al.*, 1981). Sedan reporte une amélioration optimale pour un dosage de 16% en volume de fibres de chanvre de longueur comprise entre 10 et 20 mm (Sedan, 2007) (Figure 1-10).

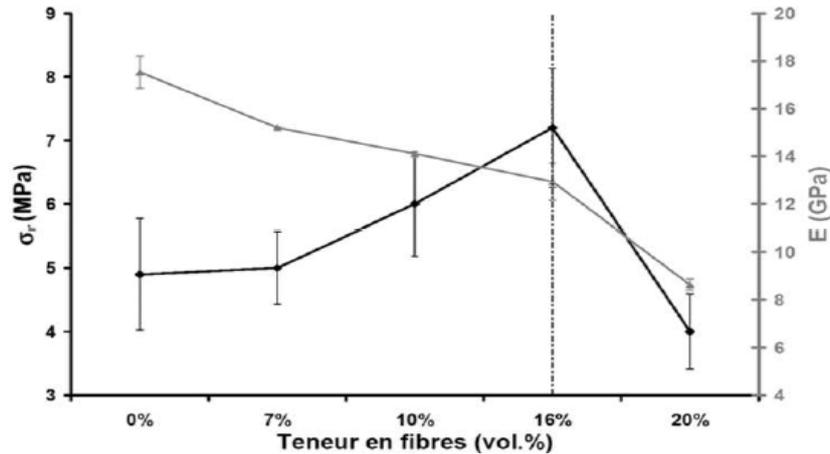


Figure 1.10. Evolution de la contrainte de rupture et du module de Young en flexion d'une pâte de ciment renforcée de fibres de chanvre en fonction de la teneur en fibres (Sedan, 2007)

En parallèle à la résistance en flexion, l'auteur a mesuré le module d'Young des différentes compositions par échographie ultrasonore en milieu infini. Il a remarqué que l'amélioration de la résistance en flexion du composite s'accompagne d'une diminution significative du module d'élasticité du matériau. L'auteur attribue cela à une augmentation de la porosité due à l'incorporation des fibres.

4.2.3. Comportement en compression d'un composite cimentaire fibré

La résistance en compression des composites n'est, en général, pas significativement affectée par l'incorporation de fibres végétales (ACI, 1996). D'après une étude de Mansur, la résistance en compression de composites incorporant des fibres de jute n'est pas sensible à l'ajout de ces fibres (Mansur et Aziz, 1982). La résistance en compression reste quasiment la même pour les différents taux de fibres et les différentes longueurs (Figure 1.11).

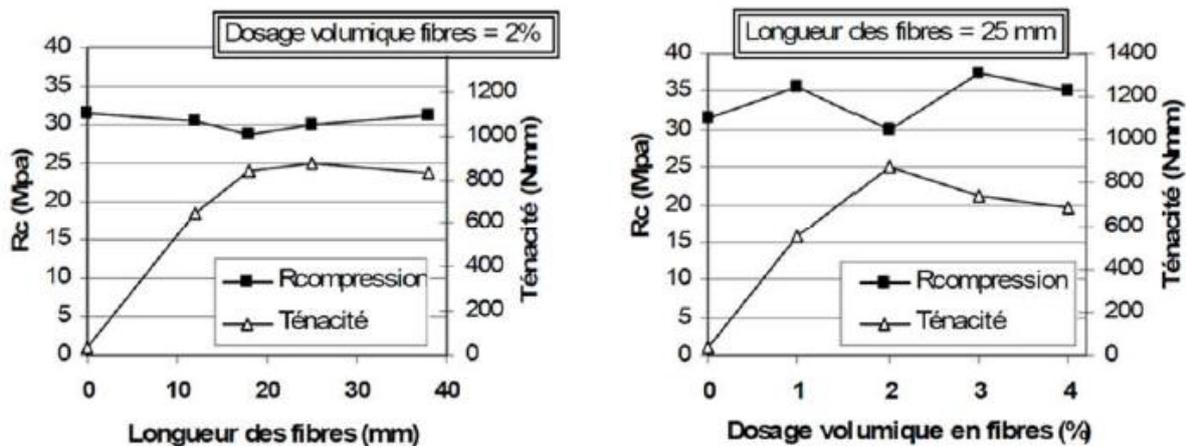


Figure 1.11. Influence du dosage et de la longueur des fibres de jute sur la résistance en compression du composite cimentaire (Mansur et Aziz, 1982)

Toutefois, ces résultats diffèrent de ceux de Kriker dont l'étude a mis en évidence une diminution de la résistance en compression avec l'augmentation du dosage et de la longueur des fibres (Krikeret *al.*, 2005). La résistance d'un béton renforcé par 2 % en volume de fibres de palmier dattier de longueur 15 mm représente 90 % de celle du béton non renforcé tandis

que celle d'un béton renforcé par 3% de fibres de 60 mm de longueur ne représente plus qu'environ 55% de celle du béton seul. L'auteur attribue cette diminution à l'augmentation du nombre de défauts et à la non-uniformité de la répartition des fibres.

Une autre étude s'est intéressée à la résistance en compression des composites bio-fibrés avec du lin (Chafei, 2014). Des essais de compression sur des éprouvettes de mortier ont été menés à différentes échéances : 7, 14, 28 et 90 jours. De plus, différents taux de fibres ont été testés : 0, 2, 3 et 4 %. En accord avec les résultats de Kriker (Kriker, 2005), Chafei observe une diminution significative de la résistance en compression avec l'incorporation de fibres végétales (Figure 1.12). De plus, la résistance en compression diminue avec l'augmentation du taux de fibres. Cela souligne à nouveau l'effet néfaste des fibres végétales sur la résistance en compression des composites.

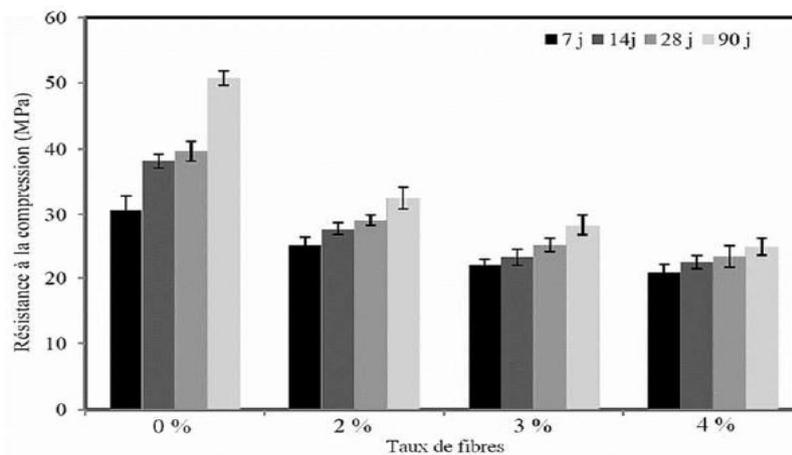


Figure 1.12. Influence du taux de fibres de lin sur la résistance en compression du mortier (Chafei, 2014)

4.2.4. Absorption capillaire d'un composite cimentaire fibré

Achour (Achour, 2017) a étudié l'effet des fibres de Diss et de Doum brutes et traitées sur l'absorption capillaire des mortiers à 24 heures dans l'eau après une cure de 90 jours. L'auteur rapporte que les fibres brutes de Diss augmentent l'absorption capillaire de 34 à 193% par rapport à celle du mortier témoin. Tandis que les mêmes fibres traitées entraînent une augmentation de l'absorption de 32 à 165% par rapport à celle du mortier témoin. De même, les fibres brutes de Doum ont augmentées l'absorption de 20 à 137%, par rapport au mortier témoin. Cependant, une fois traitées, les fibres de Doum enregistrent une absorption de 9 à 105% plus élevées que celle du mortier témoin.

Une autre étude menée par Merzoud (Merzoud, 2007) s'est intéressée à l'absorption capillaire des composites renforcés par des fibres de Diss brutes et traitées, les résultats obtenus sont présentés dans la figure 1.13.

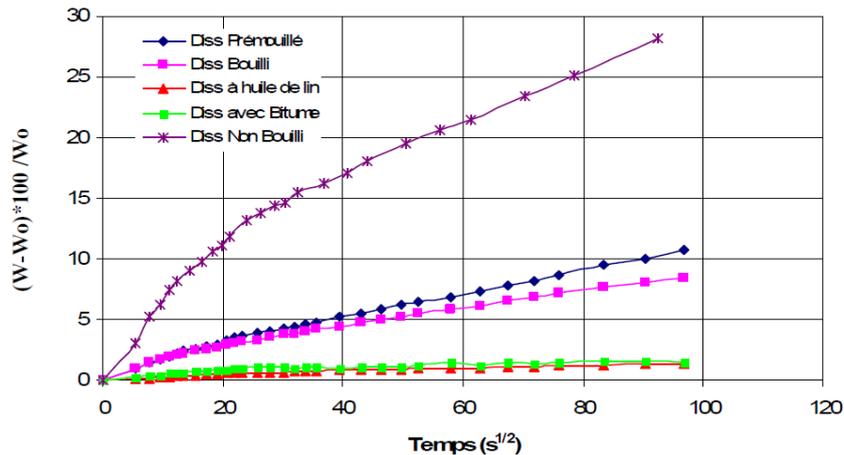


Figure 1.13. Comparaison des cinétiques initiales d'absorption (Merzoud, 2007)

L'auteur constate que les faibles absorptions par capillarité sont obtenues par les composites dont les fibres sont enrobés par des matériaux hydrofuges tels que le bitume et l'huile de lin, qui empêchent l'eau d'accéder aux fibres. Dans le cas de fibres de Diss bouillies et de Diss pré-mouillé, la pâte de ciment adhère bien aux fibres, et l'absorption est ralentie par le complexe ciment-fibres. Cependant, pour le cas du Diss non bouilli, l'auteur remarque une cinétique d'absorption plus importante, il explique ceci par le fait que la pâte de ciment ne réagit pas avec les fibres de Diss non bouilli, et que dans ce cas le ciment se dépose comme une poussière sur les fibres de Diss. Dans ce cas les fibres absorbent comme étant seules, et le ciment ne pourra ralentir l'absorption.

5. AMELIORATION DES CARACTERISTIQUES DES COMPOSITES PAR TRAITEMENT DES FIBRES

Etant donné les problèmes rencontrés avec l'utilisation des fibres végétales en complément d'une matrice cimentaire, de nombreuses études ont été menées dans le but de modifier certaines de leurs caractéristiques avant l'élaboration de composites. La plupart des traitements ont pour but de limiter le comportement hydrophile du végétal et le relargage d'extractibles. L'objectif peut également être de modifier la surface des particules végétales.

5.1. Traitement chimique

5.1.1. Traitement à l'hydroxyde de sodium

Le traitement le plus étudié sur les fibres végétales est le traitement alcalin, et en particulier à la soude (NaOH). Le traitement des fibres végétales avec de l'hydroxyde de sodium conduit à un changement de leur structure (Van de Weyenberg *et al.*, 2006). Sedan a étudié l'effet du traitement à l'hydroxyde de sodium sur les fibres de chanvre en vue d'une incorporation dans une matrice cimentaire (Sedan, 2007). Ce traitement a été réalisé avec une concentration massique de 6 %. Une fois traitée, les fibres ont été rincées à l'eau afin de retirer l'excès de NaOH. Sedan a constaté une augmentation de 39 % de la résistance en flexion par rapport à un composite incorporant des fibres non traitées. L'auteur explique ces résultats par le fait que la soude a dégradé les impuretés, les hémicelluloses et les graisses à la surface de la fibre. Les fibres de chanvre sont donc plus homogènes, ce qui améliore leur adhérence avec la matrice.

Par ailleurs, Le Troedec, qui a également travaillé sur le traitement des fibres de chanvre avec l'hydroxyde de sodium, a constaté une augmentation de l'indice de cristallinité de près de 45 % (Le Troedec *et al.*, 2008).

De plus, Toledo Filho *et al.* ont testé des fibres de sisal et de noix de coco immergées dans une solution de NaOH (Toledo Filho *et al.*, 2000). Après 420 jours d'immersion, les fibres ont conservé respectivement 73 % et 61 % de leur résistance en traction initiales. Les fibres végétales n'ont donc pas été fortement altérées par la solution d'hydroxyde de sodium.

Chafei *et al.* ont utilisé la soude (6 % de concentration) pour traiter des fibres courtes de lin en vue d'une incorporation dans un mortier (Chafei *et al.*, 2014). L'absorption d'eau par les fibres de lin est légèrement diminuée par ce traitement (11 %). L'auteur explique ce résultat comme une conséquence de la réduction du taux d'hémicelluloses par le traitement. La résistance en flexion à 90 jours du mortier renforcé par des fibres de lin non traitées avait la même valeur que le mortier non fibré. Cependant, le mortier renforcé par des fibres traitées à l'hydroxyde de sodium avait montré une résistance en flexion supérieure de 30 % au bout de 90 jours. La résistance en traction d'une fibre unitaire de lin a également été augmentée suite au traitement à la soude. Selon les auteurs, l'hydroxyde de sodium a permis d'éliminer une grande partie des pectines et lignines présentes entre les micros fibrilles, ce qui facilite le transfert des efforts entre elles.

D'autres travaux ont été réalisés sur des fibres de palmier dattier on été menés par Alawar *et al.* (Alawar *et al.*, 2009), avec des concentrations variables d'hydroxyde de sodium de 0,5, 1, 1,5, 2,5 et 5% à 100°C pendant une durée d'immersion d'une heure. Les auteurs ont constaté que la concentration optimale de traitement alcalin est de 1% avec une amélioration de la résistance à la traction de 290% par rapport à la fibre non traitée. Shalwan et Yousif (Shalwan et Yousif, 2014) ont étudié aussi le traitement alcalin des fibres de palmier dattier avec des concentrations de 0, 3, 6 et 9% de NaOH pendant 24h à une température ambiante. Les auteurs ont conclu que la concentration optimale pour l'amélioration de la microstructure et les caractéristiques de surface des fibres est de 6%. A partir de cette concentration, il y a une détérioration de la fibre. De plus, le traitement alcalin des fibres avec 6% de NaOH a apporté les propriétés maximales de la résistance à la traction des fibres.

5.1.2. Traitement à l'eau bouillante

Sellami *et al.* (Sellami *et al.*, 2013), ont évalué l'effet d'un traitement à l'eau bouillante de fibres de Diss sur les propriétés mécaniques d'un mortier incorporant ce renfort. Ce traitement consistait à ôter les extractibles par distillation dans de l'eau. Ils ont noté une forte amélioration de la résistance à la flexion du composite de fibres traitées en comparaison avec celui de fibres brutes. Chafei *et al.* ont également fait un traitement à l'eau bouillante, sur des fibres de lin (Chafei *et al.*, 2015). Les fibres bouillies présentent une capacité d'absorption d'eau similaire aux fibres non traitées. Cependant, les composites élaborés avec ces fibres traitées présentent des améliorations à plusieurs niveaux. Tout d'abord, la maniabilité a été améliorée avec une diminution du temps d'écoulement au maniabilimètre de 33 % de plus.

5.2. Traitement par enrobage organique à l'huile de lin

Toujours dans le but d'isoler la fibre ou le granulat végétal du milieu cimentaire, une autre solution consiste à l'enrober par un polymère acrylique ou une huile polymérisée.

L'huile de lin est réputée être un bon moyen pour diminuer le caractère hydrophobe des particules végétales. Celle-ci est couramment utilisée comme traitement hydrofuge pour les bardages en bois. De plus, l'huile de lin a l'avantage d'être très intéressante d'un point de vue environnemental. Monrealet *al.* Se sont aussi intéressés au recouvrement de la pulpe de betterave avec de l'huile de lin (Monrealet *al.*, 2011). Ils ont noté une forte diminution de l'absorption d'eau de la pulpe de betterave, passant de 240 % pour la pulpe non traitée, à environ 90 % pour la pulpe enrobée d'huile de lin.

L'huile de lin comme enrobage de particules végétales a été étudiée par plusieurs autres auteurs, avec de nombreuses fibres différentes :

- Anas de lin (Khazmaet *al.*, 2014) ;
- Fibres de Diss (Merzoud, 2007; Sellamiet *al.*, 2013) ;
- Chènevotte et granulat de tournesol (Nozahic, 2012; Nozahic et Amziane, 2012) ;
- Fibre d'agave (Juarez *et al.*, 2007) ;
- Fibres de lin (Lazkoet *al.*, 2011).

Des conclusions générales peuvent être tirées de ces différentes études sur l'utilisation d'huile de lin comme substance d'enrobage de fibres ou granulats lignocellulosiques. L'acide linoléique contenu dans l'huile de lin possède la propriété de polymériser au contact de l'oxygène de l'air pour donner un acide oxylinoléique (Abraham, 1996). Cette forte siccativité explique son utilisation courante comme revêtement de surface pour imperméabiliser le bois. Cependant, cette polymérisation nécessite un temps minimum de cure pour opérer d'une vingtaine de jours environ (Lazkoet *al.*, 2011). Dans toutes ces différentes études, l'huile de lin a permis de réduire fortement, c'est-à-dire de plus de 50 %, l'absorption d'eau des particules végétales. Plusieurs études ont ensuite testé en flexion les composites cimentaires incorporant ces fibres traitées (Juarez *et al.*, 2007; Merzoudet *al.*, 2011; Sellamiet *al.*, 2013). Dans ces différents cas, la résistance à la flexion du composite a été améliorée par ce traitement, dans des proportions variables.

6. CONCLUSION

Dans la première partie de cette étude bibliographique, nous nous sommes intéressés aux fibres végétales dans leur globalité, puis à la fibre de palmier dattier en particulier. Cette dernière est une ressource naturelle renouvelable, abondante en Algérie. Sa production s'avère être moins polluante que celle des fibres synthétiques par exemple. De plus, la fibre de palmier dattier se distingue par des propriétés mécaniques spécifiques. Cependant, elle présente également quelques faiblesses telles qu'une mauvaise tenue à la chaleur, une forte sensibilité à l'humidité et une forte dispersion des caractéristiques physiques et des propriétés mécaniques.

Ensuite, l'incorporation de fibres dans une matrice cimentaire a pour but d'améliorer le comportement du matériau vis-à-vis de la fissuration et de lui apporter un comportement mécanique d'avantage ductile plutôt que fragile. Les fibres peuvent améliorer la résistance en flexion. L'amélioration des résistances précédemment citées est fonction du taux, de la nature, de la résistance des fibres utilisées et du traitement appliqué à la fibre.

Au regard de cette revue bibliographique, les fibres végétales semblent représenter l'avantage de leur faible coût économique et environnemental. Leur incorporation permet d'améliorer sur le court et le moyen terme le comportement en flexion.

CHAPITRE II

MATÉRIAUX UTILISÉ ET MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

CHAPITRE II

MATÉRIAUX UTILISÉS ET MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

Le deuxième chapitre porte sur la caractérisation des matériaux qui seront utilisés dans cette étude et en particulier celles des fibres de palmier dattier. On présente également les différentes méthodes expérimentales sur lesquelles on s'appuiera pour la caractérisation des effets du traitement sur le comportement des mortiers aux états frais et durci.

Sommaire

1. INTRODUCTION	29
2. CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS	29
2.1. Le ciment	29
2.2. Le sable	30
2.3. Les fibre du palmier dattier.....	31
2.4. Superplastifiant	32
2.5. Eau de gâchage	32
3. TRAITEMENT DES FIBRES DE PALMIER DATTIER	33
3.1. Traitement par ébullition des fibres	33
3.2. Traitement à l'hydroxyde de sodium (NaOH).....	33
3.3. Traitement d'enrobage à l'huile de lin.....	34
4. MÉTHODE DE FORMULATION DES COMPOSITES CIMENTAIRES	35
4.1. Procédure de formulation	35
4.2. Préparation de la gâchée	37
4.3. Conservation des éprouvettes	37
5. MÉTHODES EXPÉRIMENTALES	38
5.1. Essais sur fibres de palmier dattier	38
5.1.1. Teneur en eau	38
5.1.2. Cinétique d'absorption d'eau	38
5.1.3. Mesure du diamètre des fibres par imagerie au microscope optique.....	40

5.1.4. Résistance à la traction directe des fibres unitaires.....	40
5.2. Essais sur composites cimentaires fibrés	41
5.2.1. Essai sur mortier frais	41
5.2.1.1. Essai d'étalement à la table à secousses	41
5.2.1.2. Masse volumique réelle	42
5.2.1.3. Délais de prises des pâtes de ciment renforcé de fibres.....	42
5.2.2. Essais sur mortier durci.....	43
5.2.2.1. Essai de traction par flexion	43
5.2.2.2. Essai de compression	44
5.2.2.3. Essai d'absorption d'eau par capillarité.....	44
5.2.2.4. Détermination de la porosité accessible à l'eau.....	45
6. CONCLUSION	46

Chapitre II Matériaux utilisés et méthodes expérimentales

1. INTRODUCTION

L'étude bibliographique présentée dans le chapitre précédent a fait ressortir l'influence des constituants sur la formulation et les propriétés des mortiers. Aussi, dans ce travail il est indispensable de caractériser les différents constituants qui seront utilisés dans la composition des mortier (ciment, sable, fibres). Ce chapitre détaille la campagne d'essais menés pour caractériser ces matières, à travers leurs propriétés morphologiques, physiques et mécaniques. Par ailleurs, ce chapitre détaille aussi les différentes procédures de traitement des fibres ainsi que les méthodes d'essais qui seront appliquées pour l'étude des composites cimentaires.

2. CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS

2.1. Le ciment

Le ciment employé dans cette étude est un CEM II/A 42.5 N qui provient de la cimenterie de Hadjar-Soud, il répond à la norme Algérienne NA 442 (NA 442, 2005). Les différentes caractéristiques chimico-physiques et mécaniques du ciment utilisé sont données dans les tableaux (2.1 et 2.2) (cf. fiche technique Annexe A).

Tableau 2.1.Composition chimique du ciment et minéralogique du clinker en (%)

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	CL ⁻
55-65	22-28	5-6	3-3.6	1-2	0.3-0.6	0.1-0.16	1.8-2.5	0-.01
Minéraux				Désignation	Teneur calculée (% massique)			
Silicate tricalcique				C ₃ S	52-58			
Silicate bicalcique				C ₂ S	10-25			
Aluminate tricalcique				C ₃ A	8-12			
Ferro-aluminate-tétra calcique				C ₄ AF	9-13			

Tableau 2.2.Caractéristiques physique et mécanique

Caractéristiques	Unités	Valeurs
Consistance normale	%	27
Début de prise	min	150
Fin de prise	min	250
Masse volumique absolue	kg/m ³	3100
Masse volumique apparente	kg/m ³	1020
Surface spécifique Blaine	cm ² /g	3420
Refus au tamis 80 µm	%	1.36
Résistance moyenne en compression à 28 jours	Mpa	46

2.2. Le sable

Le sable utilisé (0/2) présenté à la Figure 2.1, est un sable roulé qui provient des dunes de la Wilaya de Tébessa. Il s'agit d'un sable siliceux caractérisé par un module de finesse de 2,20.



Figure 2.1. Sable de dunes (0/2)

Les caractéristiques physiques et la composition chimique du sable utilisé sont représentées dans les tableaux 2.3 et 2.4.

Tableau 2.3. Caractéristiques physiques du sable

Caractérisations	Unité	Roulé
Masse volumique app	kg/m ³	1550
Masse volumique abs	kg/m ³	2660
d/D	mm/mm	0/2
Module de finesse	-	2.20
Equivalent de sable ¹	%	67.83
Coefficient d'absorption	%	1.34
Bleu de méthylène ²	%	1.00

Tableau 2.4. Analyse chimique du sable en (%)

SO ₃	SO ₄	CaCO ₃	CL ⁻	Matière organique	PH
0.24	0.29	1.60	0.21	1.04	8.34

La courbe granulométrique du sable utilisé pour cette étude est présenté sur la figure 2.2.

¹**Equivalent de sable:** « Sable légèrement argileux » de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement le retrait.

² Matériau riche en éléments fins.

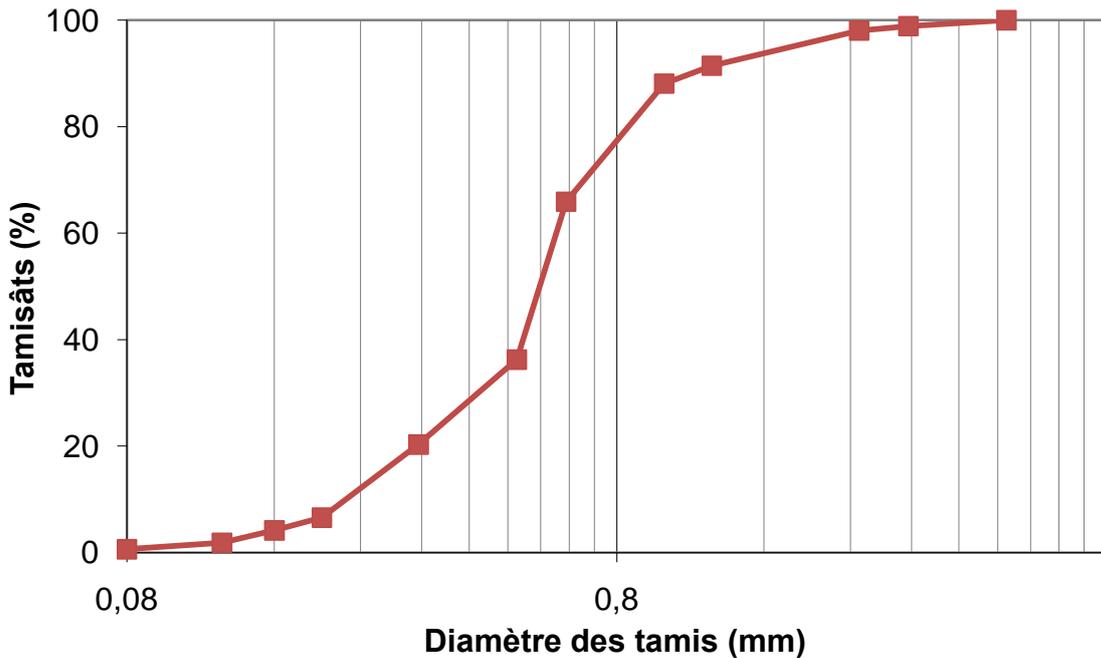


Figure 2.2. Courbes granulométriques du sable (0/2)

2.3. Les fibre du palmier dattier

Parmi les fibres végétales les plus abondantes, on peut citer les fibres de palmier dattier. Dans le sud Algérien, il y'a plus de 800 variétés de palmier dans les oasis d'après des statistiques (Dari, 1997). Les fibres qui ont servie à cette étude sont des fibres de surface de palmier dattier provenant de la région d'Annaba, en effet, Kriker et al (Kriker *et al.*, 05) ont mené une étude sur les fibres de palmier dattier de surface. Les auteurs ont justifié leur choix, en disant que ces fibres semblent les plus appropriés à exploiter.

Les fibres de surface sont naturellement tissées. Elles sont formées par la superposition de trois plaques de treillis. Ces fibres sont extraites du tronc du palmier sous forme d'une plaque para rectangulaire de longueur 300-500 mm et de largeur 200-300 mm la figure 2.3.



Figure 2.3. Fibres de palmier dattier à l'état brut

Les plaquettes de fibres sont séparées en fibres individuelles dans l'eau, pour faciliter leur défibrage. Les fibres individuelles sont bien lavées dans l'eau pour enlever les impuretés, ensuite, elles sont coupées aux longueurs de $25 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ (Figure 2.4).



Figure 2.4. Préparation des fibres de palmier dattier

Les principales propriétés physico-mécaniques des fibres de palmier dattier utilisées dans cette étude sont données dans le tableau 2.5.

Tableau 2.5. Caractéristiques physico-mécaniques des fibres de palmier dattier

Caractéristiques	Unités	Valeurs limites
Masse volumique absolue	g/cm^3	1.10
Résistance à la traction	MPa	77
Allongement à la rupture	%	18,6
Taux d'absorption en eau (après 24 H)	%	85.52
Diamètre	mm	0.3-0.9
Teneur en eau	%	15.30

2.4. Superplastifiant

L'adjuvant utilisé est un superplastifiant à base d'éther poly carboxylique modifié, de dénomination commerciale Polyflow SR 3600 conformes à la norme NF EN 934-2 (NE EN 934-2, 2012). La plage d'utilisation est fixée par la fiche technique (Cf. fiche technique Annexe B) selon un taux de 0,50 à 5 % du poids du liant. Le tableau 2.6 résume les données techniques d'adjuvant.

Tableau 2.6. Caractéristiques techniques d'adjuvant (Poly flow SR 3600)

	Densité	Ph	Extrait sec	Teneur en Ion Cl^-	Plage d'utilisation
PF SR 3600	$1,11 \pm 0,01$	$5,5 \pm 1$	$22 \pm 1\%$	$\leq 0,1 \%$	0,25 à 2,5%

2.5. Eau de gâchage

L'eau employée pour le gâchage du mortier provient du réseau de distribution d'eau potable de la commune de Sidi Amar, c'est une eau exempte d'impureté à vue d'œil.

3. TRAITEMENT DES FIBRES DE PALMIER DATTIER

Les études qui ont été conduites sur les fibres végétales (Merzoudet *al.*, 2008) montrent en effet qu'il est nécessaire de les traiter avant leur utilisation dans le béton, permettant d'éliminer des substances organiques ayant pour effet de retarder la prise et le durcissement du ciment et de provoquer une mauvaise liaison entre la fibre et la matrice cimentaire.

3.1. Traitement par ébullition des fibres

Ce traitement a été effectué par la mise en ébullition des fibres de palmier dattier dans une cocotte pendant différentes échéances de traitement de 5 mn, 1, 2 et heures, puis égoutté et rincé à l'eau afin d'enlever les substances organiques, causes du retard de prise des composites cimentaire. À travers ce traitement, des études systématiques sont à prévoir, pour mettre en évidence l'efficacité du traitement. La procédure du traitement par ébullition des fibres est présenté dans la figure 2.5.



Figure 2.5. Différentes étapes du traitement par ébullition

3.2. Traitement à l'hydroxyde de sodium (NaOH)

Le traitement à l'hydroxyde de sodium des fibres de palmier dattier consiste à tremper dans une solution contenant du NaOH à une concentration donnée pendant une durée de temps. Deux paramètres sont prédominants pour ce type de traitement : la concentration de la soude et la durée d'exposition des fibres. Etant donné le volume important de ce travail, on a choisi de prendre en considération uniquement le facteur de la concentration en maintenant fixe la

durée d'immersion des fibres de palmier dattier dans la solution alcaline, cette durée a été prise égale à 2 heures suivant des travaux cités dans la littérature (Cf. Chapitre I, § 5.1.1).

En ce qui concerne les concentrations du NaOH, quatre concentrations ont été choisies, 1, 3, 6 et 9 %. Après immersion pendant 2 heures, les fibres sont lavées à l'eau distillée à plusieurs reprises pour enlever les dernières traces de soude qui restent collées à la surface des fibres. Enfin, elles sont séchées à l'étuve à 60°C pendant 24 heures. La figure 2.6 résume les opérations de ce traitement.

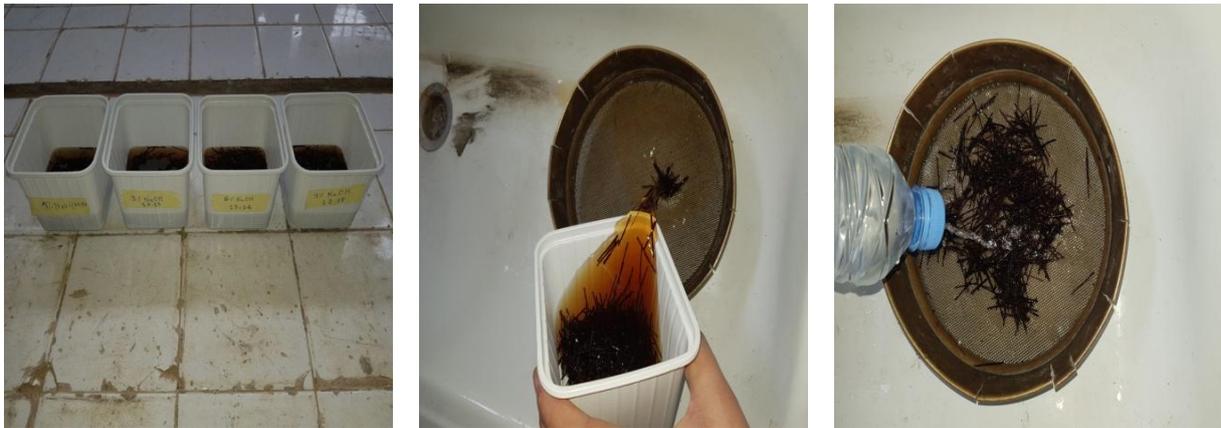


Figure 2.6. Différentes étapes du traitement alcalin à l'hydroxyde de sodium

3.3. Traitement d'enrobage à l'huile de lin

L'huile de lin (HDL) est un liquide visqueux qui durcit par oxydation à l'air pour former une pellicule solide, on parle donc d'une huile siccatrice (Zovi, 2009). Cette forte siccativité explique son emploi courant comme revêtement de surface pour imperméabiliser le bois. L'huile de lin est composée de trois acides gras à longues chaînes aliphatiques insaturées (acide oléique, acide linoléique et acide linoléique) et saturées (acide stéarique et acide palmitique). Du fait des propriétés siccatrices de l'huile de lin, il faut faire très attention car son oxydation exothermique peut, à forte température, entraîner une combustion spontanée. Ceci est un phénomène complexe par lequel un matériau combustible peut prendre feu sous l'effet de sa propre chaleur de réaction, sans que la chaleur externe ou une autre source d'inflammation soit en cause (Abraham, 1996). C'est pour cela qu'il est recommandé de ne pas utiliser cette huile à une température supérieure à 60 °C.

Pour la réalisation du traitement d'enrobage à l'huile de lin, les fibres préalablement séchées à $50 \pm 0,1$ °C sont introduites dans un malaxeur planétaire. Le malaxeur est ensuite mis en route à une vitesse de 30 trs.min⁻¹ et après 30 secondes l'huile de lin est introduite pendant une durée de 2 minutes 30 secondes. Pour notre étude, le rapport massique huile/fibres (HDL/F) a été varié : 0.25, 0.50, 1 et 1.50. Le malaxage est maintenu pendant 2 minutes 30 secondes supplémentaires afin d'assurer un recouvrement homogène des fibres. Les fibres ainsi traitées sont placées dans une étuve ventilée à $50 \pm 0,1$ °C jusqu'à séchage complet des fibres, approximativement une semaine. La figure 2.7 montre le traitement d'enrobage des fibres de palmier dattier à l'huile de lin.

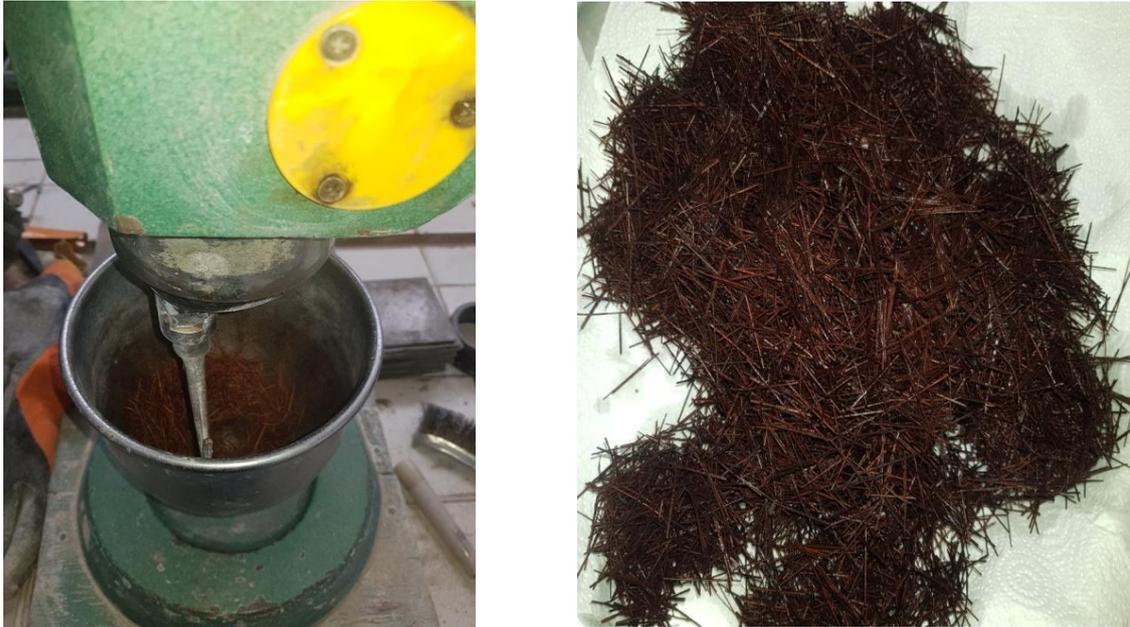


Figure 2.7. Différentes étapes du traitement d'enrobage à l'huile de lin

4. MÉTHODE DE FORMULATION DES COMPOSITES CIMENTAIRES

4.1. Procédure de formulation

L'approche de formulation des mortiers d'étude est empirique, basé sur des essais en laboratoire, cette approche est tirée des travaux de Boukour et al. (Boukour *et al.*, 2017). Les auteurs se sont intéressés au rapport Sable/ciment (S/C) qui a été varié de 2,6 jusqu'à 3, tandis que le rapport E/C est maintenu fixe à 0,5. Le critère qui a été choisi par les auteurs pour le choix du rapport S/C est la résistance mécanique en flexion et en compression. D'après leurs résultats, le rapport S/C qui donne les meilleures résistances mécaniques est le rapport 2,8. Le tableau 2.7 présente la composition de base du mortier témoin sans fibre et sans adjuvant.

Tableau 2.7. Composition du mortier de base (Boukour *et al.*, 2017)

Composant	Quantités (kg/m ³)
Ciment CEM II/A 42.5	500
Sable 0/2	1400
Eau	250

Afin d'améliorer l'ouvrabilité des composites fibrés, étant donné que l'incorporation des fibres végétale réduit fortement la maniabilité des mortiers, on a utilisé un super plastifiant qui va permettre d'améliorer la fluidité des mélanges en équilibrent la forte demande en eau des fibres. Pour cela, on a varié le dosage du super plastifiant afin d'obtenir un étalement à la table à secousses égale à $170 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ ce qui correspond à une consistance plastique. La figure 2.8 présente les résultats obtenus. D'après cette figure on constate que pour un dosage en super plastifiant de 1,1 % on obtient un étalement du mortier sur la table à secousses de 174 mm et par conséquent ce dosage sera retenu pour la suite de ce travail.

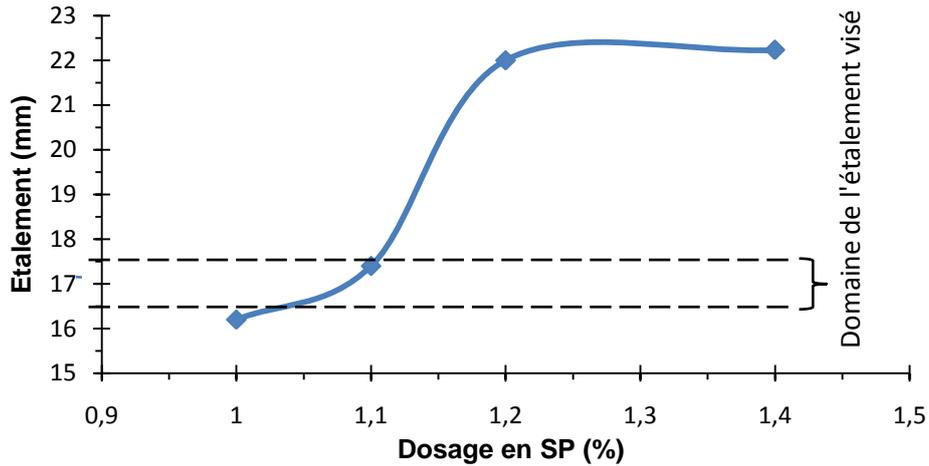


Figure 2.8.Détermination du point de saturation du super plastifiant

Ce travail a pour objectif d'étudier l'effet du traitement des fibres de palmier dattier sur le comportement des composites cimentaires et par conséquent le dosage des fibres sera maintenu fixe à 2 % en volume absolu par rapport au volume total de la gâchée qui sera substitué au sable. De plus, la longueur des fibres sera aussi fixée à 25 mm ± 2 mm. Le tableau 2.8 résume les différentes compositions des mortiers étudiés.

Tableau 2.8.Composition des mortiers d'étude

Mortiers	Constitutions	Volume (l/m ³)	Quantités (kg/m ³)	Volume de la gâchée (l)
Mortier témoin sans fibre (MT)	Sable	526,32	1400	5
	Ciment	166,67	500	
	Eau	250,00	250	
	SP	5,24	5,5	
	Fibre	0,00	0	
Mortier avec fibre brute (MFB)	Sable	507,35	1349,6	5
	Ciment	166,67	500	
	Eau	250,00	250	
	SP	5,24	5,5	
	Fibre	18,96	20,9	
Mortier avec fibre traitée par ébullition (MFE)	Sable	507,35	1349,6	5
	Ciment	166,67	500	
	Eau	250,00	250	
	SP	5,24	5,5	
	Fibre	18,96	20,9	
Mortier avec fibre traitée par NaOH (MFHS)	Sable	507,35	1349,6	5
	Ciment	166,67	500	
	Eau	250,00	250	
	SP	5,24	5,5	
	Fibre	18,96	20,9	
Mortier avec fibre	Sable	507,35	1349,6	5

traitee par l'huile de lin (MFHDL)	Ciment	166,67	500
	Eau	250,00	250
	SP	5,24	5,5
	Fibre	18,96	20,9

4.2. Préparation de la gâchée

Le malaxage des mortiers a été effectué à l'aide d'un malaxeur d'une capacité de cinq litres. La durée totale de préparation est de 3minutes et 30seconde pour un mortier non fibré et 6 minutes et 30seconde pour les mortiers avec fibres. La séquence de malaxage du mortier témoin sans fibre et des mortiers fibrés est décrite dans les tableaux 2.9 et 2.10.

Tableau 2.9.Protocole de malaxage du mortier non fibré

Durée	Etape
t 30 s	Ajout du ciment et du sable secs dans le malaxeur et malaxage pendant 30 sec (vitesse lente)
t2min	Ajout progressif de 2/3 de l'eau et malaxage pendant 1min 30 sec (vitesse rapide).
t 2min30s	Ajout du super plastifiant et malaxage pendant 30 sec (vitesse rapide) + 1/3 de l'eau
t 3min30s	Malaxage pendant 1 min (vitesse rapide)

Tableau 2.10.Protocole de malaxage des mortier fibrés

Durée	Etape
t 30 s	Ajout du ciment et du sable secs dans le malaxeur et malaxage pendant 30 sec (vitesse lente)
t2min	Ajout progressif de 2/3 de l'eau et malaxage pendant 1min 30 sec (vitesse rapide)
t 2min30s	Ajout du super plastifiant et malaxage pendant 30 sec (vitesse rapide) + 1/3 de l'eau
t 3min30s	Malaxage pendant 1 min (vitesse rapide)
t 6min 30s	Ajout progressif des fibres de palmier dattier manuellement et malaxage pendant 3 min (vitesse lente)

4.3. Conservation des éprouvettes

Après le malaxage on procède à la préparation des moules prismatiques (4x4x16) cm destinés aux essais suivant :

- essais de traction par flexion (trois éprouvettes 4x4x16 cm) ;
- essai de compression direct (six demis éprouvettes 4x4x16 cm) ;
- essai d'absorption d'eau par capillarité (trois éprouvettes 4x4x16 cm) ;
- essai d'absorption d'eau par immersion totale (trois éprouvettes 4x4x16 cm).

Les opérations de mise en place des éprouvettes ont été réalisées conformément au mode opératoire décrit par la norme (NF EN 196-1, 2006). À la suite du coulage, les moules ont été conservés 48 heures à une température ambiante au laboratoire. Une fois le démoulage effectué, les éprouvettes sont conservées à l'air libre jusqu'aux échéances des différents essais qui sont de 7, 14 et 28 jours pour les essais mécaniques et 28 jours pour les essais d'absorptions d'eau par capillarité et par immersion totale. La figure 2.9 montre le mode de conservation des éprouvettes en mortiers.



Figure 2.9. Conservation des éprouvettes

5. MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

5.1. Essais sur fibres de palmier dattier

5.1.1. Teneur en eau

La teneur en eau W des fibres correspond à la perte de masse que subit l'échantillon quand il est séché dans une étuve à 105°C jusqu'à masse constante. Elle est calculée selon l'Equation suivante.

$$W(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \cdot 100 \quad (2.1)$$

avec :

- m_0 (g) : tare du creuset :
- m_1 (g) : masse creuset et de l'échantillon avant séchage :
- m_2 (g) : masse creuset et de l'échantillon après séchage jusqu'à masse constante.

5.1.2. Cinétique d'absorption d'eau

La détermination du coefficient d'absorption d'eau des fibres végétales de palmier dattier est réalisée selon la méthode décrite par (Juarez *et al.*, 2009) dans ses travaux sur l'utilisation des fibres végétales d'agave en tant que renfort dans les matériaux composites à base de ciment.

Ces mesures ont été effectuées sur une petite quantité d'environ 1g de fibres brute et traitée. Les pertes de masse ont été déterminées à l'aide d'une balance d'une précision de pesée de 0,0001g (Figure 2.10).

Les fibres sont d'abord séchées à l'étuve à 60°C pendant 24 heures (stabilité de masse), puis pesées afin de connaître la masse sèche (M_0). Le choix de la température de 60°C au lieu de 105°C choisie par (Juarez *et al.*, 2009 ; Magniont, 2010) est lié à la détérioration de la fibre par la température de 105°C. Selon les résultats des travaux de Baley *et al.* (Baley *et al.*, 2012), l'exposition des fibres à une température élevée de 105°C pendant 14 heures, provoque une détérioration et une dégradation de la fibre conduisant à une diminution importante de ses propriétés mécaniques avec une perte de résistance à la traction de la fibre de 45%, du module d'Young de 20% et de la contrainte à la rupture (σ) sous l'effet de traction de 33%. Cette température réduit aussi, la force inter faciale entre la fibre et la matrice.

Ensuite, trois échantillons de fibre d'un gramme chacun pour chaque type de fibre est pesé et placé dans un sachet en plastique micro-perforé avant d'être immergés dans un bain d'eau à une température ambiante pendant 5, 15, 30, 60 minutes et 24 heures. Après chacune de ces périodes d'immersion, les fibres sont sorties de l'eau, essuyées et séchées superficiellement en utilisant un papier absorbant pour enlever tout excès d'eau présent sur la surface de la fibre, puis les fibres sont pesées (M_t). Le coefficient d'absorption d'eau des fibres est donc calculé selon l'équation suivante :

$$Ab(\%) = \frac{M_t - M_0}{M_0} \cdot 100 \quad (2.2)$$

Avec :

- M_0 : masse sèche des fibres (g),
- M_t : masse des fibres saturées, superficiellement sèche après immersion à l'instant t (g).



Figure 2.10. Suivi de la cinétique d'absorption des fibres de palmier dattier (laboratoire d'Ecole Des Minéraux).

5.1.3. Mesure du diamètre des fibres par imagerie au microscope optique

Au préalable de l'essai de traction, des images de fibres unitaires de palmier dattier sont prises à l'aide d'un vidéo-microscope optique (Figure 2.11). Les diamètres sont mesurés en trois endroits tout le long de la fibre, trois mesures de diamètre sont donc obtenues pour chaque fibre et le diamètre retenu est la moyenne de ces trois valeurs (Figure 2.12).

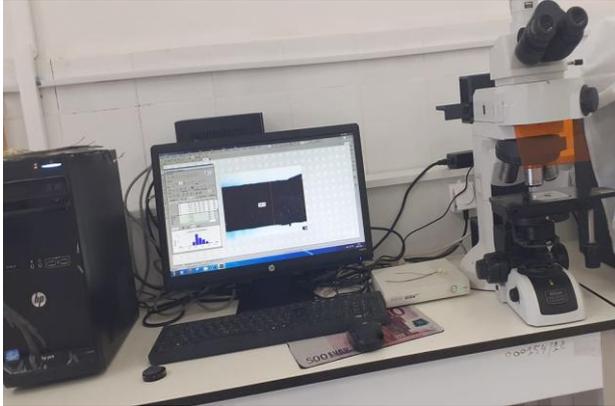


Figure 2.11. Microscope optique Nikon Eclipse LV100ND (laboratoire d'Ecole Des Minéraux).

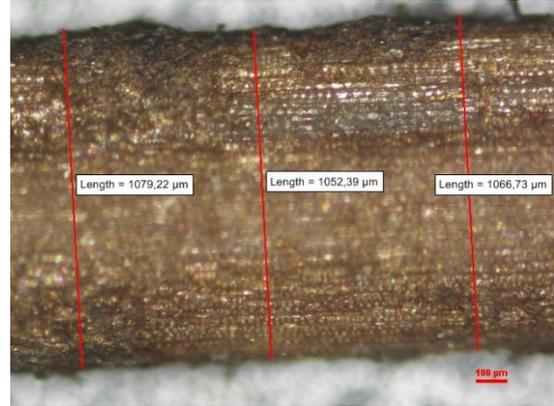


Figure 2.12. Mesure du diamètre des fibres de palmier dattier unitaires par microscopie (laboratoire d'Ecole Des Minéraux).

5.1.4. Résistance à la traction directe des fibres unitaires

Les essais de traction directe sur les fibres de palmier dattier unitaire ont été réalisés sur une machine universelle produite par Zwick/Roell de type Z020. Il s'agit d'une machine d'essai électromécanique d'une capacité de 20 KN en traction-compression, avec une traverse de 66 cm de large mobile entre deux colonnes. Son pilotage se fait par le logiciel TesteXpert qui permet à la fois de consigner les paramètres d'essais, d'acquérir et de traiter les données. Les essais de traction directe ont été réalisés à une vitesse de traverse de 3 mm/min jusqu'à rupture de l'échantillon et avec une longueur de mesure entre les mors d'attache de 50 mm. Pour chaque type de traitement, 12 échantillons ont été testés. La figure 2.13 présente le dispositif de traction utilisé.



Figure 2.13.Essais de traction directe sur une fibre de palmier dattier

5.2. Essais sur composites cimentaires fibrés

5.2.1. Essai sur mortier frais

5.2.1.1. Essai d'étalement à la table à secousses

Selon la norme (NF EN 1015-3, 1999), cet essai d'étalement est une mesure testant plus particulièrement l'aptitude du mortier à s'étaler par écoulement. L'essai est exécuté sur une table à laquelle on peut imprimer des secousses verticales à l'aide d'une manivelle (Figure. 2.14). On démoule sur la table un tronc de cône ($D_0 = 100 \text{ mm}$; $d_0 = 70 \text{ mm}$; $h = 60 \text{ mm}$) et on le soumet à une série de 15 secousses, un coup par seconde ensuite on mesure deux diamètres perpendiculaire d_1 et d_2 .



Figure 2.14.Etalement à la table à secousses

La moyenne de ces deux diamètres nous renseigne sur la consistance du mortier testé grâce au tableau 2.11.

Tableau 2.11.Plages de consistances des mortiers

Consistance d'utilisation	Valeur d'étalement	Mode opératoire
Mortier raide	< 140 mm	La méthode de vibration
Mortier plastique	Entre 140 et 200 mm	La méthode des chocs
Mortier fluide	> 200 mm	La méthode de remplissage

5.2.1.2. Masse volumique réelle

La masse volumique réelle d'un mortier frais est déterminée par le quotient de sa masse par le volume réelle qu'il occupe lorsqu'il est introduit et compacté, d'une manière prescrite dans un récipient de mesurage d'une capacité donnée (Figure 2.15). Selon la norme (NBN EN 1015-6, 1999), le mode opératoire dépend de la valeur d'étalement.



Figure 2.15.Mesure de la masse volumique réelle

5.2.1.3. Délais de prises des pâtes de ciment renforcé de fibres

Le temps de prise initial des différentes formulations est déterminé avec un appareil Vicat conforme à la norme française (NF P 15-431, 1994). La méthode consiste à mesurer le temps nécessaire à la pénétration dans le matériau d'un piston muni d'un poids total de 1000 g (Figure 2.16). Le temps de prise initial est défini comme le temps écoulé depuis le contact de l'eau avec le ciment jusqu'au moment où le piston du mélange est à $4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ de la plaque de base. Tandis que le temps de fin de prise correspond à celui au bout duquel l'aiguille ne s'enfonce plus que de 0,5 mm de la surface.

Afin d'étudier l'effet des fibres de palmier dattier sur les délais de prises, un test de Vicat est réalisé sur des mélanges eau-ciment, mais également sur des mélanges eau-ciment-fibres ; dans ce cas, le pourcentage massique de fibres de palmier dattier est de 2 %, et le rapport massique Eau/Ciment est de 0,4.



Figure 2.16.Détermination des délais de prise avec l'Appareil de Vicat

5.2.2. Essais sur mortier durci

5.2.2.1. Essai de traction par flexion

Les essais de traction par flexion trois points sont réalisés sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm selon la norme (NF EN 196-1, 2006). Ces essais ont été effectués sur une machine universelle produite par Zwick/Roell de type Z020 (Figure 2.17). Le taux de chargement était de 50 N/s. Les composites durcis ont été testés à l'âge de 7, 14 et 28 jours, les résistances de la flexion représentent la moyenne de trois éprouvettes.



Figure 2.17.Essai de traction par flexion 3 points

5.2.2.2. Essai de compression

La résistance à la compression des mortiers est mesurée conformément à la norme (NF EN 196-1, 2006). sur les demi-prises obtenus après rupture en flexion. Les essais ont été réalisés sur une presse hydraulique produite par BeraTest avec une capacité maximale de 2000 KN (Figure 2.18). Les composites durcis ont été testés à l'âge de 7, 14 et 28 jours, les résistances de la compression représentent la moyenne de six éprouvettes.



Figure 2.18. Presse hydraulique pour l'essai de compression

5.2.2.3. Essai d'absorption d'eau par capillarité

L'essai d'absorption d'eau capillaire caractérise le coefficient qui traduit le mouvement de l'eau dans les matériaux poreux à travers les pores ou capillaires. Le transfert d'agents agressifs à travers ces capillaires peut affecter les performances de ces matériaux.

Dans ce travail, les essais d'absorption d'eau par capillarité ont été réalisés sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm préalablement séchées dans une étuve à 105°C jusqu'à masse constante (Figure 2.19).



Figure 2.19. Essai d'absorption d'eau par capillarité

Elles ont été placées sur des supports adéquats (non absorbants) dans un bac à eau muni d'un système d'alimentation automatique en eau afin de respecter un niveau d'immersion partiel

constant de 5 mm. Les éprouvettes d'essai ont été par ailleurs couvertes d'un film en aluminium pour assurer une remontée d'eau unidirectionnel et pour empêcher l'échange hydrique avec le milieu ambiant.

Le coefficient d'absorption capillaire est donné en kg/m^2 ; il est défini par la relation (2.3).

$$Ca_t = \frac{M_x - M_0}{A} \quad (2.3)$$

Avec :

- M_x est la masse de l'éprouvette à une échéance donnée (kg) ;
- M_0 est la masse initiale de l'éprouvette (kg) ;
- A est la section de l'éprouvette (m^2).

La sorptivité est définie par la vitesse d'absorption par remontée capillaire, elle est obtenue par une régression linéaire de l'ensemble des mesures qui se trouvent dans un domaine d'évolution linéaire du coefficient d'absorption Ca_t , généralement, entre 1 et 8 heures. La sorptivité est donnée par l'équation 2.4, tirée des travaux de (Bessa-Badreddine, 2004).

$$S = \frac{Ca_8 - Ca_1}{\sqrt{8} - \sqrt{1}} \quad (2.4)$$

Avec :

- S est la sorptivité ($\text{kg/m}^2/\text{h}^{1/2}$) ;
- Ca_8 et Ca_1 : sont respectivement le coefficient d'absorption à 1 et 8 heures.

5.2.2.4. Détermination de la porosité accessible à l'eau

Le principe de la mesure consiste à déterminer la part de vide contenu dans le matériau à l'état durci. La porosité à l'eau du matériau peut être déterminée par pesée hydrostatique. Les essais de porosité accessible à l'eau sont effectués selon le mode opératoire AFPC-AFREM (AFPC, 1997) sur des éprouvettes $4 \times 4 \times 16$ cm, placées dans un dessiccateur saturées dans l'eau sous pendant une durée de 48 heures (Figure 2.20). Les échantillons sont soumis à une pesée hydrostatique qui permettra d'évaluer leur volume (M_{eau}) et à une pesée dans l'air qui est assimilée à la masse saturée en eau (M_{air}) après avoir essuyé leur surface avec un chiffon humide.

Enfin, les échantillons sont placés dans une étuve à 105°C jusqu'à masse constante (une différence de moins de 0,1 % entre 2 pesées effectuées à 24 heures d'écart) : la masse finale obtenue (M_{sec}) correspond à un état sec du matériau. La porosité accessible à l'eau est calculée suivant l'équation (2.5).

$$P = \frac{M_{\text{air}} - M_{\text{sec}}}{M_{\text{air}} - M_{\text{eau}}} * 100 \quad (2.5)$$

où :

- P : coefficient de porosité accessible à l'eau en % ;
- M_{air} : masse (en gramme) de l'éprouvette saturée d'eau pesée dans l'air ;

- M_{eau} : masse (en gramme) de l'éprouvette saturée d'eau pesée dans l'eau ;
- M_{sec} : masse (en gramme) de l'éprouvette sèche pesée dans l'air.



Figure 2.20.Essai de porosité accessible à l'eau

6.CONCLUSION

Ce chapitre a permis de présenter les caractéristiques des différentes matières premières qui entrent dans la composition des mortiers développés dans cette étude et plus particulièrement les fibres de palmier dattier . En effet, l'introduction de ces fibres dans la composition des mortiers peut impliquer des modifications de la cohésion de la matrice, la rhéologie du matériau et par conséquent, des propriétés physiques, mécaniques, et de durabilité du matériau.

La deuxième partie de ce chapitre a été consacrée à la présentation des méthodes de caractérisation des composites cimentaires. Ces méthodes sont, dans la très grande majorité, soit issues des normes en vigueur, soit adaptées de tests préliminaires tirés de la littérature.

Après avoir caractérisé les matières premières, nous allons présenter dans le chapitre suivant une étape importante de l'étude qui est l'influence du mode de traitement des fibres végétales de palmier dattier et leur impacte sur les composites fibrés.

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET DISCUSSION SUR FIBRES ET MORTIERS FIBRÉS

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS SUR FIBRES ET MORTIERS FIBRÉS

Ce chapitre est consacré à l'étude de l'influence des traitements des fibres, dans un premier temps sur des fibres de palmier dattier unitaire et dans un second temps l'effet de ces fibres sur des composites cimentaires fibrées à l'état frais et durci.

Sommaire

1. INTRODUCTION	49
2. RÉSULTATS SUR FIBRES	49
2.1. Cinétique d'absorption d'eau.....	49
2.2. Effet du traitement des fibres sur les délais de prises.....	51
2.3. Résistance à la traction directe des fibres unitaires.....	53
3. RÉSULTATS SUR COMPOSITES CIMENTAIRES FIBRÉS	55
3.1. Propriétés à l'état frais.....	55
3.1.1. Effet du traitement des fibres sur la consistance des composites cimentaires.....	55
3.2. Propriétés à l'état durci.....	56
3.2.1. Porosité accessible à l'eau des mortiers.....	56
3.2.2. Comportement à la flexion 3 points.....	57
3.2.3. Résistance à la compression.....	59
3.2.4. Absorption d'eau par capillarité.....	60
4. CONCLUSION	60

Chapitre III Résultats et discussions sur fibres et mortiers fibrés

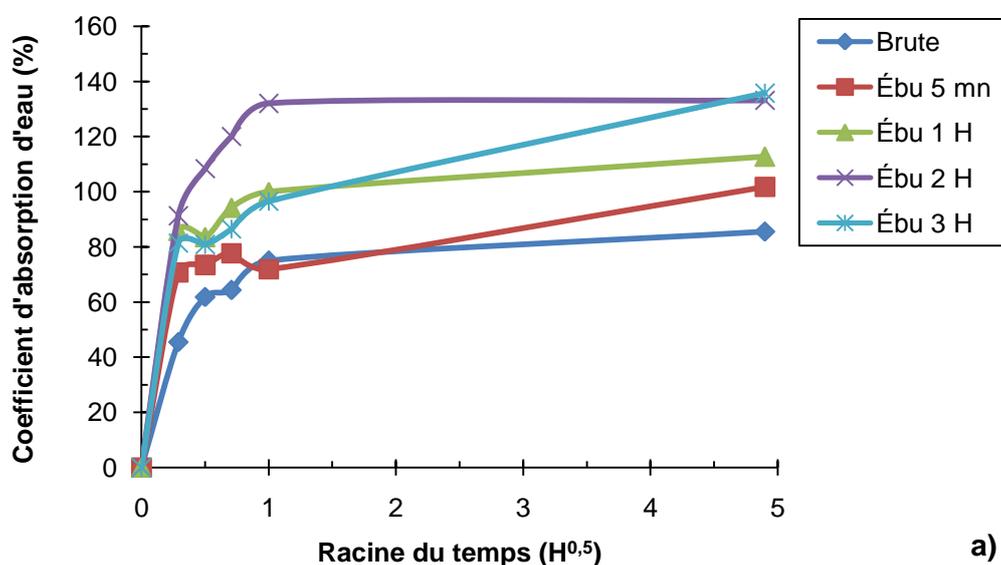
1. INTRODUCTION

Afin d'étudier l'effet du traitement sur les fibres de palmier dattier, on a choisi trois traitements les plus répondus dans la littérature : deux traitements chimiques à l'ébullition et à l'hydroxyde de sodium et un traitement de surface à l'huile de lin. Étant donné la variabilité des fibres végétales et des modes de traitement dans la littérature, on a voulu adapter chaque traitement aux fibres de palmier dattier. Pour cela, on a fait varier le paramètre prédominant pour chaque traitement. Pour le traitement à l'ébullition, quatre durées d'ébullition ont été retenues : 5 min, 1, 2 et 3 heures. Pour le traitement à la soude, c'est la concentration en hydroxyde de sodium qui a été prié en considération avec quatre concentrations de 1, 3, 6 et 9 %. Et pour finir, le dernier traitement d'enrobage a l'huile de lin, on a choisi de travailler avec quatre rapports huile de lin / fibres : 0.25, 0.5, 1 et 1.5. La première partie de ce présent chapitre va être conduite sur des fibres seules, afin de choisir pour chaque traitement lequel de ses paramètres offrent les meilleurs résultats en matière d'absorption d'eau, de délais de prise et de résistance à la traction. Dans la deuxième partie du chapitre on s'intéressera aux composites cimentaires fibrés.

2. RÉSULTATS SUR FIBRES

2.1. Cinétique d'absorption d'eau

Quelque soit le type de fibre végétale utilisé, la littérature qui traite de l'emploi des fibres végétales dans des matrices cimentaires affirme que les fibres végétales absorbent énormément d'eau et dans certains cas, elles absorbent plus que leur poids. Afin d'étudier l'effet du traitement sur l'absorption de nos fibres dans le temps, on a choisi de réaliser un suivi de la cinétique d'absorption des fibres de palmier dattier à des échéances de 5, 15, 30 min et 1 et 24 heures. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 3.1.



a)

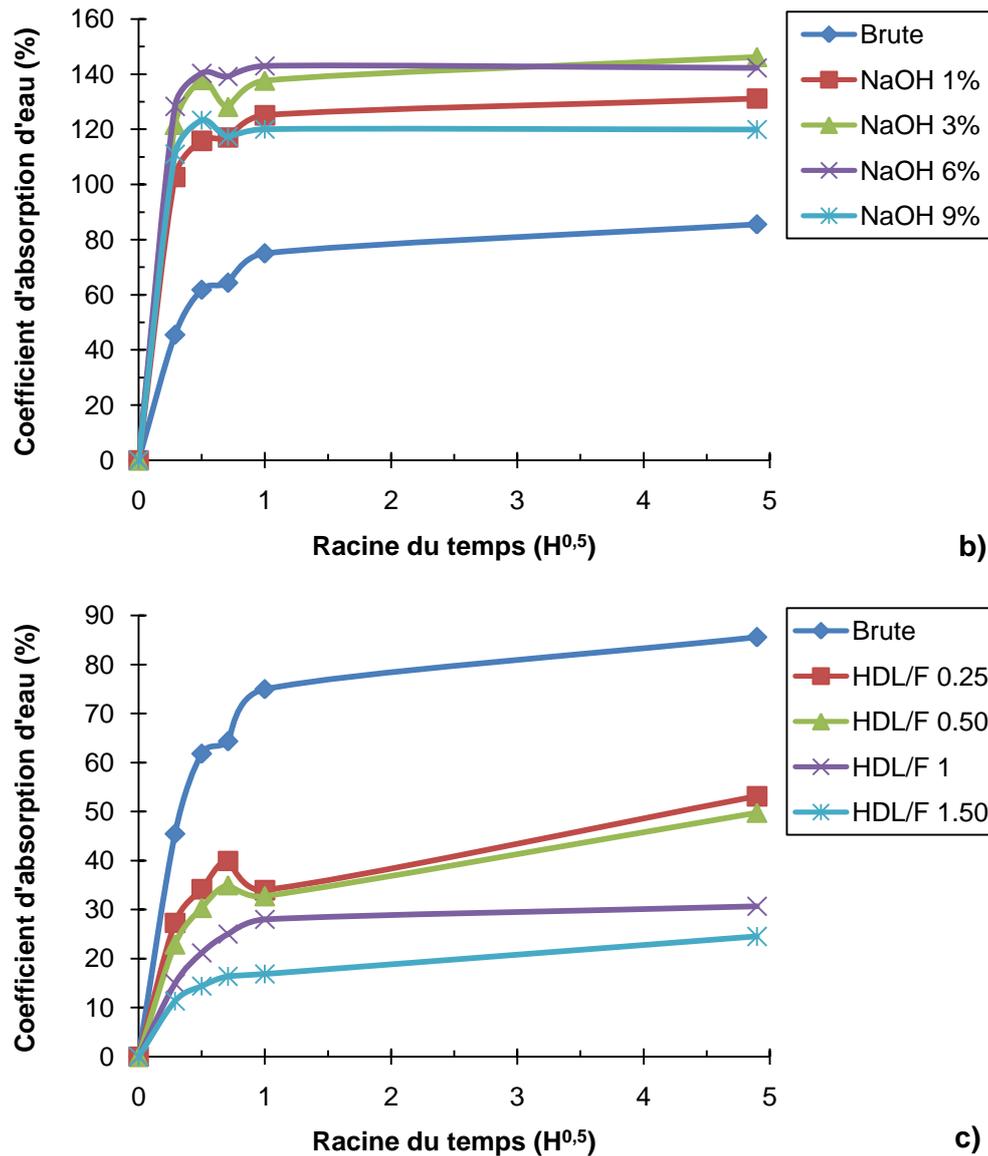


Figure 3.1. Cinétique d'absorption d'eau des fibres de palmier dattier : a-traitement à l'ébullition, b- traitement à l'hydroxyde de sodium, c- traitement à l'huile de lin

La forme générale des courbes d'absorption des fibres végétales de palmier dattier brutes et traitées est similaire à celle des autres fibres végétales trouvées dans la littérature (Achour, 2017 ; Magniont, 2010). Les résultats ont montré que les échantillons ont présenté une absorption en deux temps. Dans un premier temps, les fibres sont au contact de l'eau et par conséquent la cinétique d'absorption est élevée. En effet, après 30 minutes d'exposition à l'eau des fibres brutes et traitées, le coefficient d'absorption varie entre 64 et 120 % pour le traitement à l'ébullition, entre 64 et 139 % pour le traitement à l'hydroxyde de sodium et enfin entre 39 et 64 % pour le dernier traitement à l'huile de lin.

Cette forte capacité d'absorption est due principalement à l'action capillaire engendrée par la forte porosité de la structure de ces fibres, ainsi qu'à la présence de groupes hydroxyle (-OH) et des zones amorphes dans la structure cellulosique des fibres végétales (Juarez *et al.*, 2009 ; Saikia, 2010 ; Nozahic et Ameziane, 2011). Cette absorption élevée peut devenir une contrainte lors de la mise en œuvre, due à la compétition entre la fibre et la matrice cimentaire

par rapport à l'eau de gâchage à l'état frais. Aussi, elle entraîne des variations dimensionnelles importantes de la fibre à l'intérieur de la matrice à long terme. Pour le second temps, la cinétique d'absorption ralentit jusqu'à atteindre le niveau de saturation complète.

En ce qui concerne l'effet du traitement des fibres sur la cinétique d'absorption d'eau, on constate d'après la figure 3.1-a que le traitement à l'ébullition n'améliore pas la propriété d'absorption des fibres de palmier dattier par rapport à la fibre brute. En effet, plus on augmente la durée d'ébullition et plus la cinétique d'absorption est importante. Le même constat peut être avancé pour le cas du traitement à l'hydroxyde de sodium (Figure 3.1-b). Là aussi la fibre brute enregistre le plus faible taux d'absorption. Cependant, pour le traitement à l'huile de lin (Figure 3.1-c), on constate une nette diminution de la cinétique d'absorption d'eau des fibres traitées qui enregistrent des taux d'absorption plus faible que la fibre brute. Cette diminution est proportionnelle à la quantité de l'huile de lin ajoutée aux fibres lors du traitement.

Le caractère hydrophile est principalement attribué aux hémicelluloses (Baley, 2003). En fait, le traitement par ébullition vise essentiellement à éliminer partiellement les pectines de la surface de la fibre (Rihouey *et al.*, 1995); cela expliquerait pourquoi il ne réduit pas sensiblement la consommation d'eau, les pectines ne sont pas des composants hydrophiles de la fibre de palmier dattier. En revanche, les hémicelluloses peuvent être extraites des cellules végétales par des solutions alcalines telles qu'une solution d'hydroxyde de sodium, plusieurs auteurs ont pu réduire l'absorption de leurs fibres végétale par ce type de traitement (Achour, 2017 ; Chafeiet *al.*, 2014 ; Shalwan et Yousif, 2014 ; Alawaret *al.*, 2009). Ce traitement n'a pas donné des résultats semblables à ceux trouvés dans la littérature, tous laisseraient croire que la durée du traitement n'été pas suffisante pour permettre la dissolution des hémicelluloses.

Le traitement à l'huile de lin à donner les meilleurs résultats en réduisant l'absorption d'eau des fibres traitées par rapport à celle brute. En effet, ce traitement consiste à enrober la fibre réduisant ainsi l'affinité des fibres avec de l'eau.

2.2. Effet du traitement des fibres sur les délais de prises

Par leur nature végétale, les fibres de palmier dattier contiennent des substances telles que les sucres libres sous forme de glucide. Ses sucres peuvent interagir avec la matrice cimentaire en retardant la prise du matériau. Afin d'étudier l'effet du traitement des fibres sur les délais de prises, un test de Vicat est réalisé sur des mélanges eau-ciment, mais également sur des mélanges eau-ciment-fibres (fibre brute et traitée) ; dans ce cas, le pourcentage massique de fibres de palmier dattier est de 2 %, et le rapport massique Eau/Ciment est de 0,4. Ce taux de fibre a été choisi par rapport aux résultats de la littérature (Achour, 2017 ; Sawsenet *al.*, 2015) il ne gêne pas la pénétration de l'aiguille de Vicat dans la pâte fibrée. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 3.2.

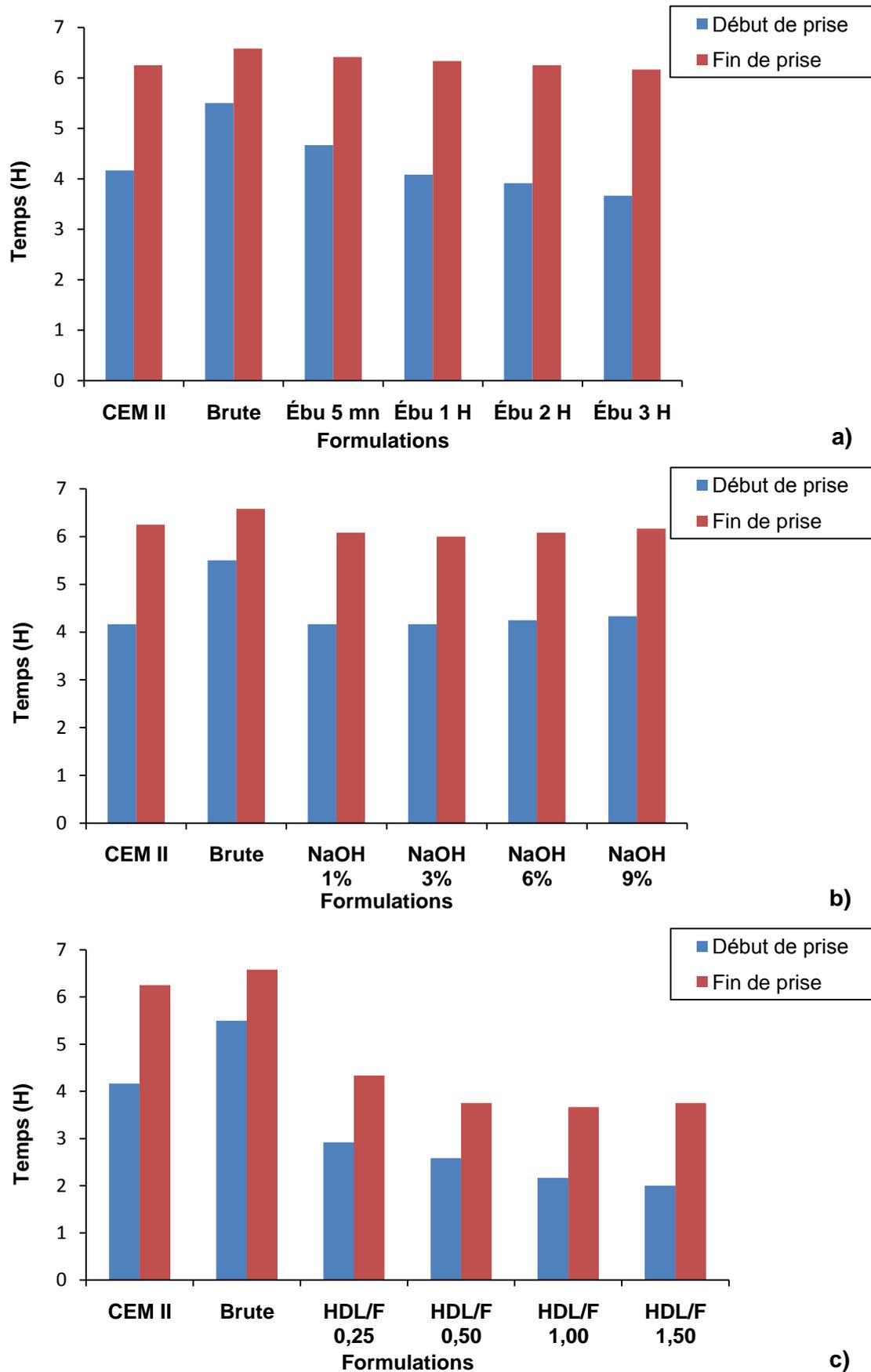


Figure 3.2. Délais de prise pour différents mélange de ciment : a-traitement à l'ébullition, b- traitement à l'hydroxyde de sodium, c- traitement à l'huile de lin

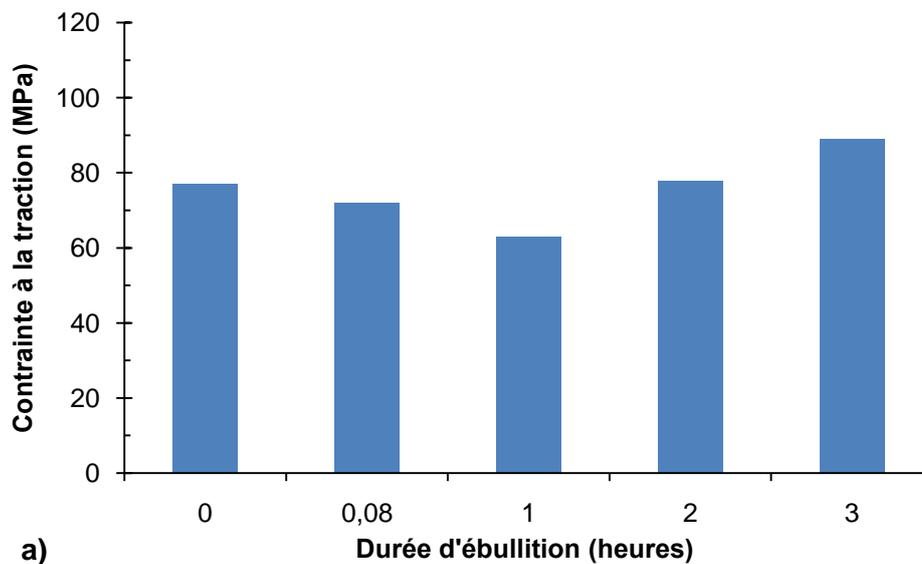
Il est clair que l'ajout de fibres de palmier dattier brute aux pâtes cimentaires retarde considérablement le temps du début et fin de prise. De plus, l'effet du traitement se fait bien ressentir, on constate une diminution du temps de début de prise pour les fibres traitées.

L'augmentation du temps d'ébullition réduit considérablement le temps du début de prise, il passe de 4h 40 min pour une durée de traitement de 5 min à 3h 40 min pour une durée de 3 heures. Ceci s'explique par la fixation des ions calcium de la matrice cimentaire à la surface de fibres végétales contenant des pectines (Le Troedecet *al.*, 2008). Le calcium étant essentiel pour la formation de silicates de calcium hydratés (C-S-H), principal produit de l'hydratation du ciment, son manque dans la pâte à base de fibre brute retarde le durcissement du composite. Étant donné que le traitement par ébullition réduit la teneur en pectine, on s'attend donc à une réduction des délais de prise.

En ce qui concerne le traitement à la soude, une réduction du temps de début de prise est enregistrée, néanmoins, l'effet de la concentration du NaOH est faiblement ressenti. Les plus faibles délais de prise sont constatés pour le traitement à l'huile de lin, ceci est d'autant plus faible que la quantité d'huile de lin est importante.

2.3. Résistance à la traction directe des fibres unitaires

Les résistances à la traction directe ont été réalisées sur des fibres unitaires de palmier dattier pour les trois types de traitement. Les résultats sont présentés dans la figure 3.3.



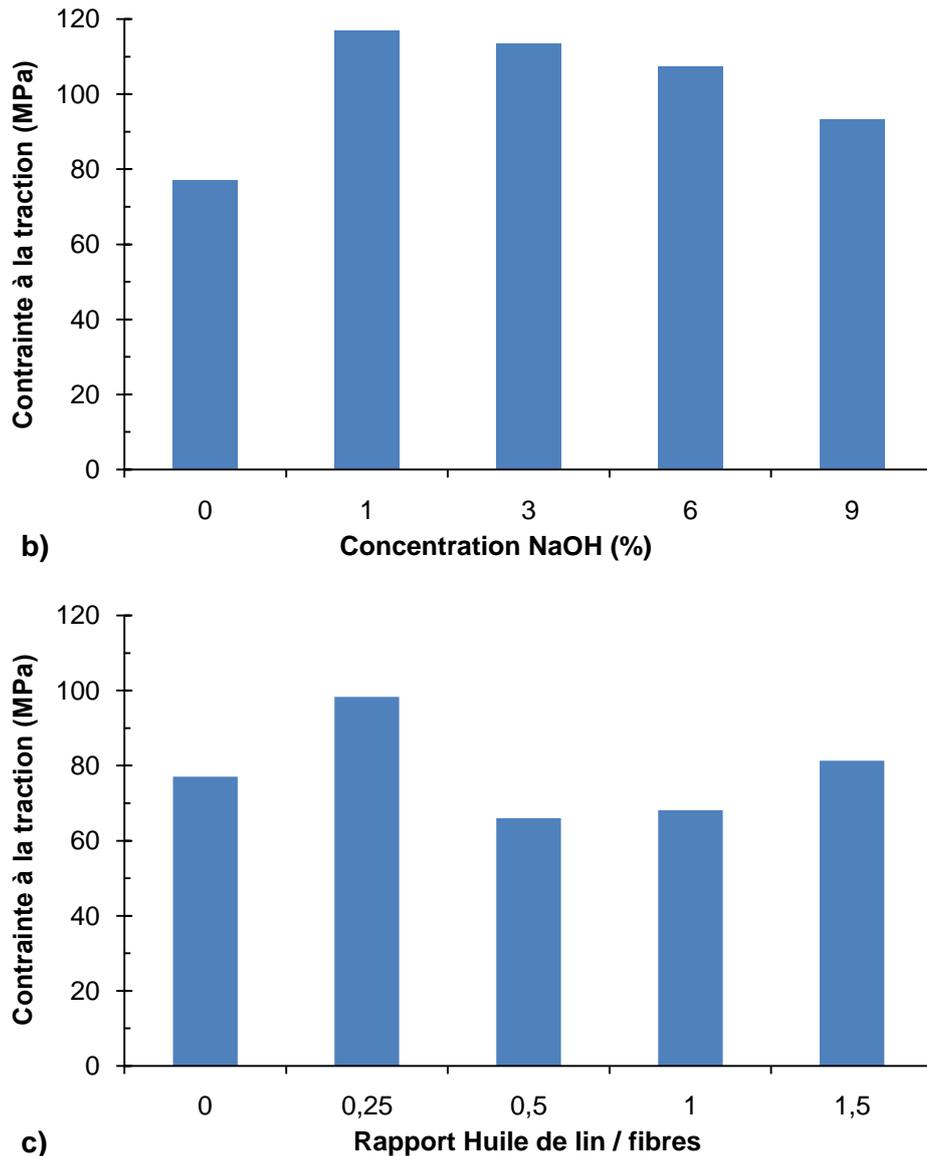


Figure 3.3. Variation de la contrainte maximale en traction : a-traitement à l'ébullition, b- traitement à l'hydroxyde de sodium, c- traitement à l'huile de lin

On constate d'après la figure 3.3 qu'il existe un optimum pour chaque traitement. Pour le traitement à l'ébullition, on observe qu'une durée d'ébullition de 3 heures dans de l'eau bouillante permet d'avoir une résistance maximale en traction. Tandis que pour le traitement à la soude une concentration de 1 % d'hydroxyde de sodium offre la meilleure résistance. Pour des concentrations plus élevées, la structure moléculaire de la cellulose est modifiée (rupture des chaînes de cellulose), ce qui entraîne une chute des propriétés mécaniques (Sedan, 2007). D'après Chafei et al. (Chafei *et al.*, 2014), l'hydroxyde de sodium a permis d'éliminer une grande partie des pectines et lignines présentes entre les microfibrilles, ce qui facilite le transfert des efforts entre elles.

Pour le dernier traitement d'enrobage à l'huile de lin, un rapport huile de lin / fibre égal à 0,25 présente la meilleure résistance à la traction, cependant, avec ce type de traitement ce n'est pas la résistance quand recherché, mais, plutôt la propriété d'imperméabilisation.

3. RÉSULTATS SUR COMPOSITES CIMENTAIRES FIBRÉS

En se basant sur les résultats obtenus sur les fibres, une durée d'ébullition de 3 heures permet d'avoir les plus faibles délais de prise ainsi qu'une meilleure résistance à la traction. Pour l'absorption on a vu que le traitement d'ébullition n'améliore pas l'absorption des fibres de palmier dattier. Pour le traitement à la soude, une concentration de 1% de NaOH offre des délais de prise les plus courts et une résistance à la traction la plus importante avec une cinétique d'absorption acceptable. Avec le dernier traitement à l'huile de lin, c'est le rapport huile de lin / fibre qui est égale à 1.5 qui donne la plus faible absorption ainsi que des délais de prise les plus courts. Par la suite, les désignations des différents mortiers seront abrégées comme suit :

- **MT** : mortier témoin sans fibres ;
- **MFB** : mortier avec des fibres brutes sans aucun traitement ;
- **MFE** : mortier avec des fibres traitées à l'ébullition pendant 3 heures ;
- **MFHS** : mortier avec des fibres traitées à l'hydroxyde de sodium à 1 % ;
- **MFHL** : mortier avec des fibres traitées à l'huile de lin pour un rapport de 1,5.

3.1. Propriétés à l'état frais

3.1.1. Effet du traitement des fibres sur la consistance des composites cimentaires

Afin d'étudier l'effet du traitement des fibres sur les propriétés des mortiers à l'état frais, un essai de consistance à la table à secousses a été réalisé. La figure 3.4 présente les résultats obtenus.

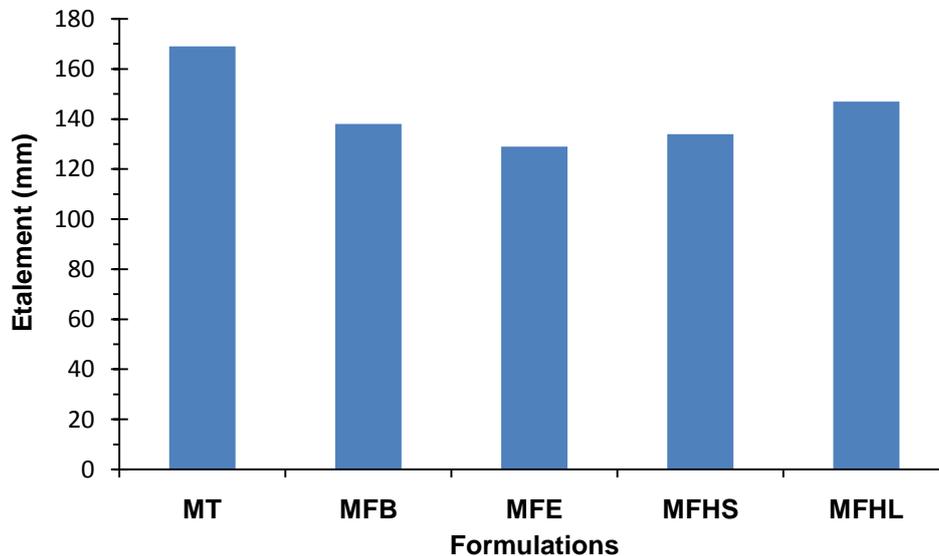


Figure 3.4. Consistances des composites cimentaires

On constate que l'incorporation des fibres végétales de palmier dattier réduit la consistance des mortiers, ce constat est valable pour les fibres brutes et traitées. Pour le mortier de référence (non fibré), noté MT, l'étalement est de 169 mm. Cette valeur est élevée du fait de l'utilisation d'un superplastifiant pour l'élaboration des mortiers. L'incorporation de 2 % en

volume de fibres de palmier dattier brute (MFB) réduit la consistance du mortier de 18 %. On note par ailleurs que le traitement par ébullition n'a pas permis d'améliorer la maniabilité du mortier (MFE) puisqu'enregistre une chute de l'étalement de plus de 23 %, soit une valeur quasi-identique au mortier MFB. Ce résultat est plausible, vu que le traitement par ébullition n'améliore pas l'absorption des fibres de palmier dattier (d'après la figure 3.1-a). En ce qui concerne le traitement chimique à la soude aucune amélioration n'a été constatée avec une perte d'étalement semblable à celle du mortier MFB estimée à 20 %. La figure 3.1-b nous a permis de voir que le traitement à la soude ne réduit pas l'absorption d'eau des fibres. Le traitement d'enrobage à l'huile de lin (MFHL) a permis une légère amélioration par rapport au mortier MFB estimée à 6.5 %, néanmoins, la perte d'étalement est égale à 13 %. Les fibres ont été partiellement hydrofugées par l'huile de lin et leur taux d'absorption a donc diminué, mais cela reste insuffisant et le mortier MFHL n'est pas aussi maniable que le mortier MT.

3.2. Propriétés à l'état durci

3.2.1. Porosité accessible à l'eau des mortiers

Les résultats des essais de porosité accessible à l'eau, effectués sur les mortiers sans fibre (MT) et les mortiers avec fibres de palmier dattier brutes et traitées, après 28 jours de cure à l'air libre sont présentés dans la figure 3.5.

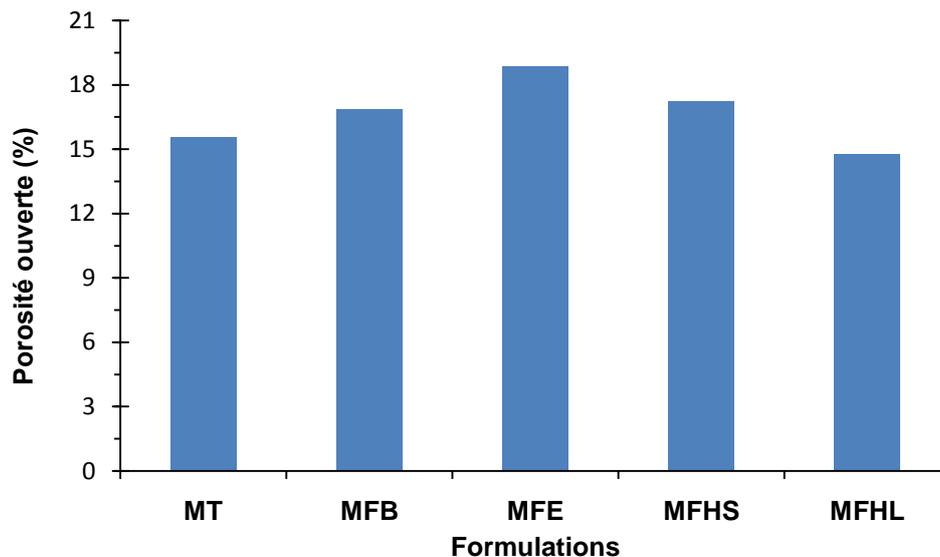


Figure 3.5. Influence du traitement des fibres sur la porosité accessible à l'eau des mortiers

On constate dans un premier temps, que l'incorporation des fibres de palmier dattier engendre une porosité supplémentaire par rapport au mortier MT. Cette augmentation de la porosité est due à la porosité initiale des fibres végétales, à la porosité de la matrice cimentaire et la zone de transition interfaciale existant autour des fibres. Cette zone de transition se forme lors du gâchage et serait due au fort coefficient d'absorption d'eau des fibres végétales qui produirait un mouvement d'eau de la pâte à l'état frais vers les fibres, ce qui induirait ensuite une porosité plus élevée dans cette zone à l'état sec (Magniont, 2010 ; Savastano *et al.*, 1999). Les valeurs élevées de la porosité mesurée sont donc la somme de toutes ces porosités.

Étant donné que la porosité accessible à l'eau est étroitement liée à l'absorption des fibres, les résultats de la porosité des fibres traitées corroborent ceux obtenus lors de l'absorption des fibres traitées. Le traitement d'enrobage à l'huile de lin est le seul traitement qui permet une réduction de la porosité du mortier MFHL par rapport aux mortiers MT et MFB.

3.2.2. Comportement à la flexion 3 points

La figure 3.6 présente le suivi des résultats en flexions 3 points du mortier témoin sans fibre (MT) et des mortiers renforcés par des fibres de palmier dattier brutes et traitées à des échéances de 7, 14 et 28 jours.

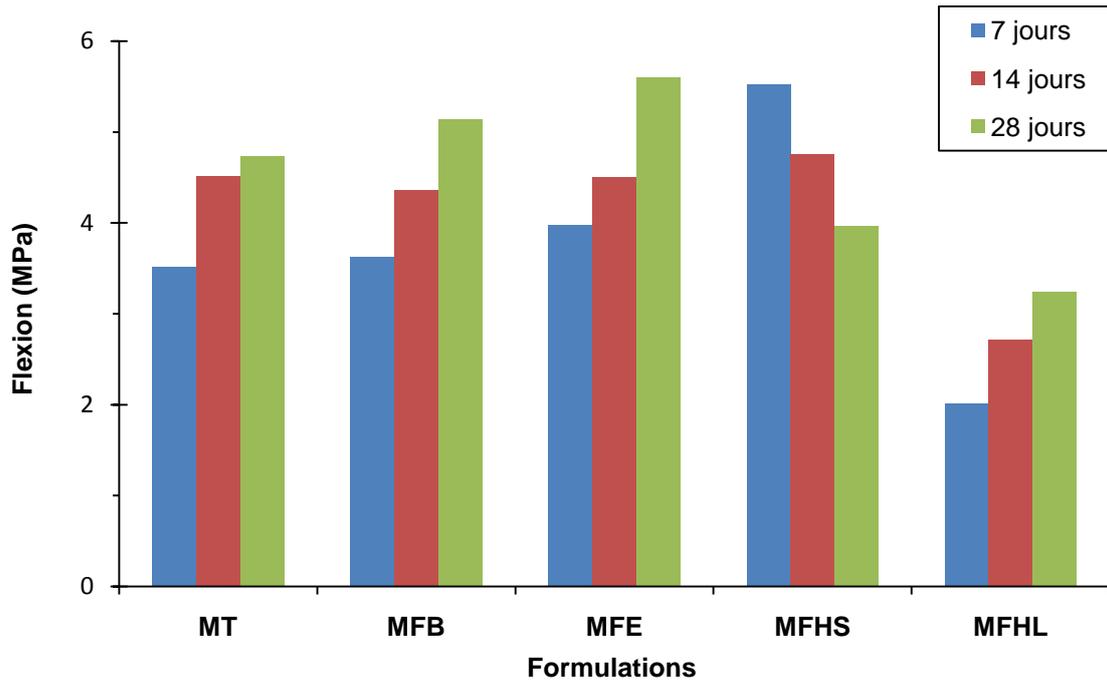


Figure 3.6. Influence du traitement des fibres sur les résistances à la flexion 3 points des mortiers

D'après la figure 3.6 on constate que l'incorporation des fibres de palmier dattier brute n'améliore pas les résistances à la flexion des mortiers à 7 et 14 jours, néanmoins, à 28 jours de maturation on assiste à une légère amélioration de la résistance par rapport au mortier (MT). Le traitement à l'ébullition des fibres de palmier améliore les résistances en flexion pour les différentes échéances. Cette amélioration est due à une meilleure capacité d'adhésion à la matrice rendue possible par le nettoyage superficiel des fibres lors du traitement à l'ébullition. Le traitement des fibres par ébullition a été utilisé par plusieurs auteurs (Sellamiet *al.*, 2013 ; Chafeiet *al.*, 2015) qui rapportent une amélioration de la résistance à la flexion du composite de fibres traitées en comparaison avec celui des fibres brutes, ceci est lié à l'amélioration de l'adhérence fibre – matrice.

Le traitement à la soude donne la meilleure résistance à la flexion à 7 jours, cependant, cette amélioration ne dure pas dans le temps, ou en constate une chute proportionnelle des résistances avec l'âge. Cette diminution des résistances n'est cependant pas logique pour un matériau cimentaire. De plus, la littérature rapporte une amélioration des résistances en flexion des composites renforcés par des fibres traitées à l'hydroxyde de sodium et cela même

pour une durée de 90 jours (Chafeiet *al.*, 2014). (Toledo Filhoet *al.*, 2000) ont immergé des fibres végétales dans une solution d'hydroxyde de sodium pendant 420 jours, les auteurs affirment qu'un tel traitement n'altère pas fortement les résistances à la traction des fibres.

Cette chute des résistances prématurée traduit un glissement relatif entre la matrice et les fibres et donc un défaut d'adhérence au niveau de l'interface. En effet, la figure 3.7 présente les courbes de comportement des mortiers MFHS pour les trois échéances de 7, 14 et 28 jours.

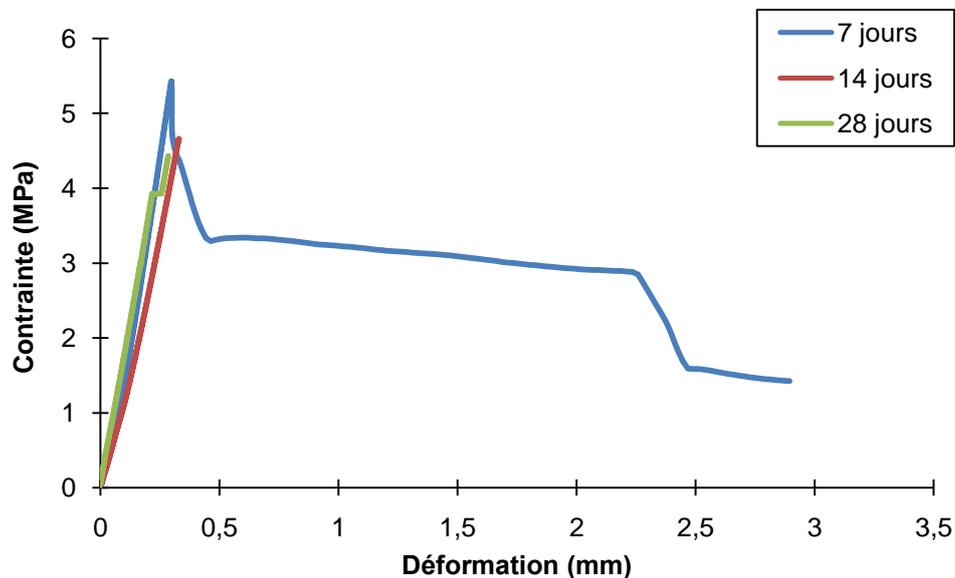


Figure 3.7. Courbes de comportement en flexion 3 points des mortiers MFHS à 7, 14 et 28 jours

Deux types de comportement peuvent être observés. Le premier correspondant au mortier à 7 jours, qui caractérise un comportement d'un matériau fibré. Le comportement est linéaire jusqu'au premier décrochage qui traduit la première fissuration de la matrice. Les fibres voisines du fond de fissure sont alors sollicitées et cela se traduit par une remontée de la charge. L'ajout de fibres de palmier dattier permet donc d'éviter une rupture fragile du matériau en flexion. À 14 et 28 jours, le comportement des mortiers MFHS est linéaire jusqu'à rupture qui survient brutalement ce qui caractérise un matériau fragile sans aucun renfort en fibres.

Se résulta s'explique par une mauvaise application du traitement à l'hydroxyde de sodium. En effet, après les 2 heures d'immersion dans la solution, les fibres sont lavées à l'eau distillé à plusieurs reprises sans vérifier pour autant le pH de l'eau de rinçage des fibres. Afin de vérifier l'hypothèse du mauvais rinçage des fibres, on a récupéré l'eau du dernier rinçage d'un échantillon de fibre pour une mesure de pH. Le pH de cette solution est égal à 9,20 ce qui prouve que des résidus de soude sont restés collés à la surface des fibres rendant leur surface très lisse affaiblissent ainsi toute adhérence entre la matrice et la fibre.

Le mortier incorporant les fibres traitées à l'huile de lin présente des résistances globalement plus faibles que le mortier MFB. Ces plus faibles résistances peuvent être dues par le fait que l'huile de lin pourrait affecter de manière plus ou moins significative l'hydratation de la matrice cimentaire à proximité. De plus, il est probable que l'interface entre la matrice cimentaire et les fibres traitées à l'huile de lin soit de moins bonne qualité qu'avec

les fibres de palmier brutes. En effet, la très faible rugosité apparentée par l'huile de lin pourrait engendrer un glissement plus important des fibres de lin traitées au sein de la matrice et donc réduire l'adhérence entre ces deux éléments au niveau de l'interface (Page, 2017).

3.2.3. Résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression des mortiers non fibrés et fibrés (en fibres brutes et traitées) à des échéances de 7, 14 et 28 jours sont présentés sur la figure 3.8.

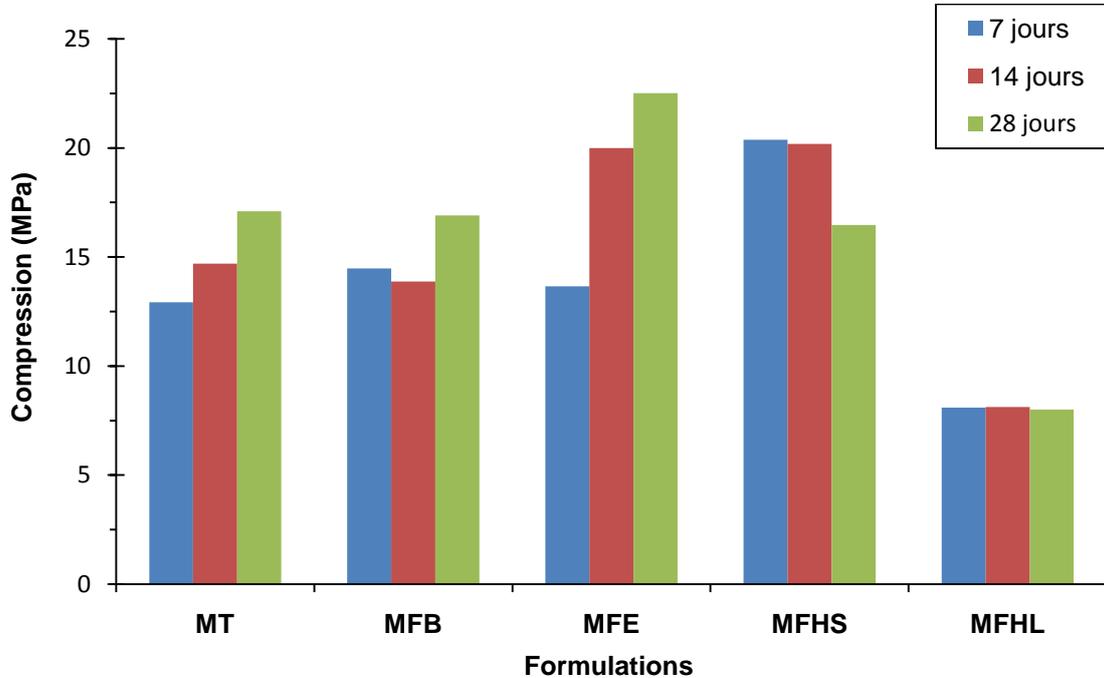


Figure 3.8. Influence du traitement des fibres sur les résistances à la compression des mortiers

Les résistances en compression du mortier témoin MT sont faibles pour un mortier à base d'un ciment CEM II/A 42.5, rappelons que la cure des éprouvettes en mortier a été réalisée à l'air libre ce qui ne favorise pas une bonne hydratation de la matrice cimentaire. L'incorporation des fibres de palmier dattier brute ne modifie pratiquement pas les résistances des mortiers, on constate des résistances quasi identiques entre le mortier MT et le mortier MFB. Le traitement à l'ébullition des fibres donne la meilleure résistance à 28 jours. Pour le traitement à la soude, le même phénomène que celui de la flexion s'est produit, au-delà de 7 jours les résistances à la compression diminuent.

Seul le mortier MFHL possède des résistances inférieures à celles du mortier témoin aux différentes échéances. Par ailleurs ce mortier présente la plus forte porosité ; ceci pourrait expliquer ces faibles résistances en compression. La résistance en compression à 28 jours de ce mortier est pratiquement égale à celle à 7 jours. Cela pourrait s'expliquer par la présence du traitement à l'huile de lin qui pourrait ne pas être durable au contact du milieu cimentaire. La dégradation de cette huile de lin engendrerait alors une porosité plus forte, ce qui induirait une diminution de la résistance en compression.

3.2.4. Absorption d'eau par capillarité

Les résultats de l'absorption d'eau par capillarité en fonction de la racine carrée du temps pour l'ensemble des mortiers sans et avec fibres de palmier dattier sont présentés dans la figure 3.9.

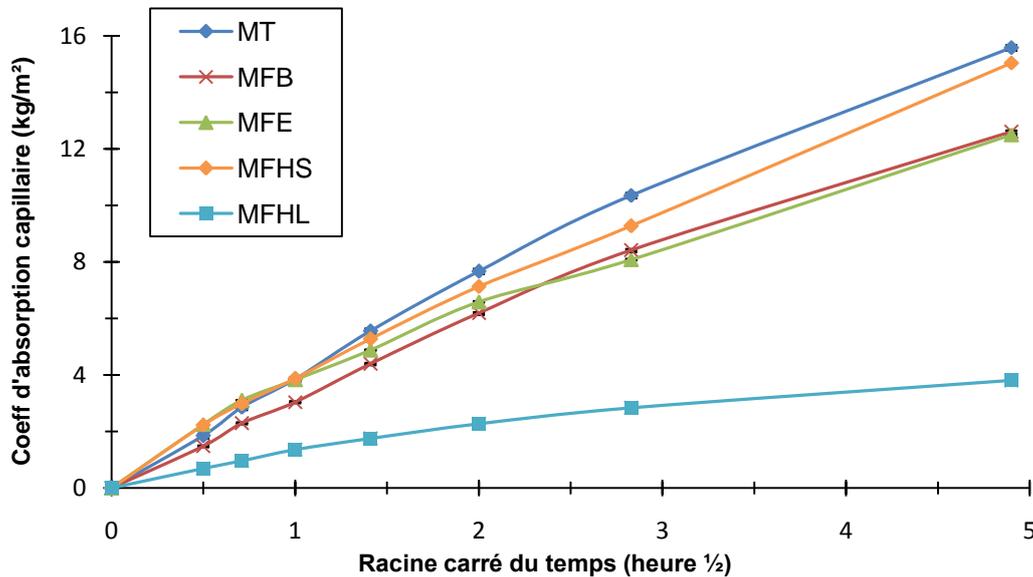


Figure 3.9. Influence du traitement des fibres sur l'absorption d'eau par capillarité des mortiers

On constate dans un premier temps que l'incorporation des fibres de palmier dattier réduit le coefficient d'absorption des mortiers. L'ensemble des mortiers à base de fibres enregistre des coefficients inférieurs à celui du mortier MT. On distingue deux allures de courbure différente, qui se différencie par la pente de leur droite. En effet, la pente des droites des mortiers MT, MFB, MFE et MFHS est nettement plus élevée que celle du mortier MFHL. D'après Bessa-Badreddine (Bessa-Badreddine, 2004), plus les pores sont plus gros, plus la pente de la droite est élevée. Grâce à son caractère hydrofuge, le traitement à l'huile de lin a permis de réduire la capacité d'absorption des fibres en les enrobant, limitant ainsi l'échange entre la fibre et son milieu. Ce résultat rejoint ceux trouvés par Merzoud (Merzoud, 2007), qui constate que de faibles absorptions par capillarité sont obtenues par les composites dont les fibres sont enrobées par des matériaux hydrofuges tels que l'huile de lin.

4. CONCLUSION

D'après les résultats obtenus au cours de cette étude, nous pouvons conclure que :

- Le traitement des fibres à l'ébullition ne réduit pas l'absorption des fibres de palmier dattier au même titre que celui à l'hydroxyde de sodium. Tandis que le traitement à l'huile de lin réduit considérablement l'absorption des fibres. À l'échelle des composites cimentaires, ceci se traduit par une meilleure consistance ;

- Tous les traitements réduisent les délais de prise des mortiers fibrés, cependant, le traitement à l’huile de lin se distingue des autres traitements par une nette diminution des délais de prise ;
- Pour ce qui est de la résistance à la traction des fibres unitaire, les meilleures résistances sont obtenues par un traitement à la soude. Néanmoins, quelques précautions doivent être respectées lors de la réalisation de ce traitement, notamment, la vérification du pH de l’eau de rinçage jusqu’à stabilisation de ce dernier. De plus, l’ajout de l’acide acétique dans l’eau de rinçage est conseillé afin d’améliorer la rugosité de la surface des fibres ;
- Les meilleures résistances à la flexion des composites sont obtenues par le traitement à la soude suivie du traitement à l’ébullition, cependant, le traitement à l’huile de lin réduit les résistances par rapport au mortier avec fibres brutes ;
- Les fibres traitées à la soude et à l’ébullition améliorent les résistances à la compression des composites cimentaires, ce qui représente un plus étant donné que le renforcement des matrices cimentaires par des fibres réduit leur résistance à la compression ;
- L’ensemble des traitements des fibres réduit la capacité d’absorption capillaire des composites, avec une préférence pour le traitement à l’huile de lin qui réduit largement le coefficient d’absorption capillaire.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

La présente étude s'inscrit dans une logique de valorisation des ressources naturelles et renouvelables, qui ne nécessite pas beaucoup d'énergie pour la production et surtout qui ne génère pas du dioxyde de carbone, premier responsable du réchauffement climatique. L'exploitation des fibres végétales et plus particulièrement les fibres de palmier dattier représente un atout en Algérie vu la disponibilité en quantités importantes des palmiers.

À l'état brute, les fibres végétales incorporées dans des matrices cimentaires génèrent plusieurs problèmes liés à leur caractère hydrophile qui est principalement attribué aux hémicelluloses. La littérature regorge de travaux qui abordent l'aspect du traitement des fibres végétales par une panoplie de méthodes aussi variées que différentes. Jugent que l'utilisation des fibres végétales sous forme traitée est plus intéressante en matière de propriétés rhéologiques que de mécaniques. Partant sur cette idée, on s'est intéressé à apporter une modeste contribution par le traitement des fibres de palmier dattier.

Afin de rester dans l'optique de l'économie et de la préservation de l'environnement, on a cherché des traitements qui soient à la fois économiques dans leur application, mais, aussi qui ne génèrent pas par la suite des problèmes environnementaux. Parmi les traitements proposés par la littérature, trois traitements nous ont paru faisables : le traitement à l'ébullition à l'eau, un traitement chimique à l'hydroxyde de sodium et enfin un traitement d'enrobage à l'huile de lin. Étant donné la variabilité des paramètres de chaque traitement et la diversification des fibres végétales employées dans les matériaux cimentaires, on s'est proposé à étudier pour chaque traitement le paramètre qui le conditionne. Et par conséquent, on a varié la durée d'ébullition pour le traitement d'ébullition à l'eau, la concentration du NaOH pour le traitement à la soude et enfin la quantité de l'huile de lin pour le dernier traitement.

Cette campagne expérimentale a été menée en deux étapes, la première est consacrée à l'effet du traitement sur les propriétés des fibres seules en matière de cinétique d'absorption, de délais de prise et de résistance à la traction directe. La deuxième partie est destinée à l'étude des propriétés des fibres traitées dans les composites cimentaires par rapport à la consistance à l'état frais et aux résistances mécaniques en flexion et en compression ainsi qu'à l'absorption d'eau capillaire à l'état durci.

Sur la base des résultats obtenus sur fibres unitaires :

- En terme d'absorption le traitement à l'huile de lin s'avère le plus efficace pour réduire l'absorption. Ce traitement a permis aussi d'avoir des délais de prise les plus bas possible par rapport à l'ensemble des mélanges testés. Cependant, en matière de résistance à la traction, c'est le traitement à l'hydroxyde de sodium qui est le plus intéressant à condition du respect d'un protocole bien précis.

Sur la base des résultats obtenus sur composites cimentaires fibrés :

- Grâce à sa propriété d'enrobage, le traitement à l'huile de lin réduit la consistance du mortier par rapport au mortier MFB. D'un point de vue propriétés mécaniques, les meilleures résistances à la flexion et à la compression sont obtenus par un traitement à la soude. Pour l'absorption d'eau capillaire des composites, c'est encore le traitement à l'huile de lin qui prédomine par rapport à l'ensemble des mortiers.

Pour conclure, l'utilisation des traitements sur les fibres végétales améliore les propriétés physico-mécaniques des fibres, où chaque traitement améliore une propriété bien précise. L'emploi d'un traitement combiné tel qu'un traitement à l'hydroxyde de sodium combiné à un traitement à l'huile de lin permet une meilleure amélioration des propriétés des fibres et des composites sur un large domaine.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

A

- ABERLENC-BERTOSSI, F. (2010).** Biotechnologies du palmier dattier. IRD Editions.
- ABRAHAM, C. J. (1996).** A solution to spontaneous combustion in linseed oil formulations. *Polymer Degradation and Stability* 54, 157-166.
- ACHOUR, A. (2017).** Etude des performances des mortiers renforcés de fibres naturelles: valorisation des plantes locales (Thèse de doctorat). Université Aboubakr Belkaid, Tlemcen, Algérie.
- ACI. (1996). Report on Fiber Reinforced Concrete (Reapproved 2009).** American Concrete Institute.
- AIT AMEUR, M.M. (1998).** Contribution à l'étude expérimentale des bétons renforcés de fibres d'acier locales. Mémoire de magister, U Tiaret.
- ALAOU, S.B. (2005).** Référentiel pour la Conduite Technique du palmier dattier. In "Référentiel de Conduite Technique des Principales Cultures au Maroc". Éditeurs: Si Bennasseur Alaoui et Ajiro Yasuhei. 102-112.
- ALAWAR A., HAMED A.M., AL-KAABI K. (2009).** "Characterization of treated date palm tree fiber as composite reinforcement". *Composites Part B: Engineering*, Vol. 40, pp. 601- 606.
- ALHOZAIMY, A.M., SOROUSHIAN, P, et MIRZA, F. (1996).** Mechanical Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete and the Effects of Pozzolanic Materials, Cement and Concrete Composites, vol.18, n° 2, p.85-92.
- ALIX, S. (2009).** Effets de traitements enzymatiques et chimiques sur les propriétés des fibres de lin - Application à l'élaboration de matériaux composites (Thèse doctorat). Université de Rouen, Rouen, France.
- AMROUN, S. (2016).** Caractérisations mécaniques et étude de l'endommagement des matériaux composites renforcés par des fibres de palmier. Thèse de doctorat, Université 8 mai 1945, Guelma.
- AMZIANE, S.,L. ARNAUD. (2013).** Bio-Aggregate-Based Building Materials - Applications to Hemp Concretes. London: Wiley-ISTE.
- ANNA, G., PIETRO, P, et CRISTINA., S. (2002).** Traduit par Sophie Cadillon- Le palmier dattier *Phoenix dactylifera L.* (Jardin botanique de Catane. Photo P. Pavone), (en ligne) URL : <http://www.dipbot.unict.it/Les%20Palmiers/descr02.html>
- AZIZ, M. A., PARAMASIVAM, P , et S. L. LEE. (1981).** Prospects for natural fibre reinforced concretes in construction. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete* 3, 123-132.

B

- BALEY, C. (2003).** Contribution à l'étude de matériaux composites à matrice organique renforcés par des fibres de lin (Thèse d'HDR). Université de Bretagne Sud, Lorient, France.
- BALEY, C. (2003).** Contribution à l'étude de matériaux composites à matrice organique renforcés par des fibres de lin (Thèse d'HDR). Université de Bretagne Sud, Lorient, France.
- BALEY, C. (2004).** Influence of kink bands on the tensile strength of flax fibers. *Journal of Materials Science* 39, 331-334.

- BALEY, C. (2013a).** Fibres végétales (chanvre et lin) renforts de matériaux composites. Présenté à Journée transfrontalière chanvre, Gembloux, Belgique.
- BALEY, C. (2013b).** Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites. In Techniques de l'ingénieur. Techniques de l'ingénieur.
- BALEY, C., LE DUIGOU, A., BOURMAUD, A. et DAVIES, P. (2012).** "Influence of drying on
- BARLUENGA, G., HERNANDEZ-OLIVARES, F. (2007).**Cracking control of concretes modified with short AR-glass fibers at early age: experimental results on standard concrete and SCC. Cement and Concrete Research, vol.37, n°12, p.1624–1638.
- BARON, J., OLLIVIER, J.P. (1996).**Les bétons, bases et données pour leur formulation. Edition Eyrolles, Paris. 522 p.
- BATRA, S. (2006).**Other Long Vegetable Fibers.In M. Lewin (Ed.), Handbook of Fiber Chemistry, Third Edition.CRC Press.
- BEAUDOIN, J. J. (1982).** Béton renforcé de fibres. Institut de recherche en construction, conseil nationale de recherche, Canada, p.04.
- BENMANSOUR, N. (2011).** Etude des performances de produits renouvelables et locaux adaptés raux applications de l'isolation thermique dans le bâtiment. Mémoire de magister, Faculté des sciences, Université El Hadj Lakhdar (Algérie).
- BENTUR, A. (2007).**Fibre reinforced cementitious composites, 2nd Edition. London ; New York: Taylor & Francis.
- BENTUR, A., AKERS, S. A. S . (1989).**The microstructure and ageing of cellulose fibre reinforced cement composites cured in a normal environment. International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete 11, 99-109.
- BESSA-BADREDDINE, (2004).**Étude de la contribution des additions minérales aux propriétés physiques, mécaniques et de durabilité des mortiers, Thèse de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, France.
- Bledzki, A. (1999).** Composites reinforced with cellulose based fibres. Progress in Polymer Science 24, 221-274.
- BLEDZKI, A. (1999).** Composites reinforcedwith cellulose based fibres. Progress in Polymer Science 24, 221-274.
- BLEDZKI, A.K., GASSAN, J. (1999).** Composites reinforces with cellulose based fibres, Progress In polymer Science, 24, 221-274.
- BLEDZKI, A.K.,GASSAN, J. (1999).** Composites reinforced with cellulose based fibers ,ELSEVIER, Progress in polymer science, volume 24, pp.221-274.
- BOUCHEKOUK, M. (1992).** Etude du béton renforcé par des fibres de verre enduites de polymère thermoplastiques, thèse doctorat, INSA de Lyon, France.
- BOUKOUR, S. (2017).** Caractéristiques physico-mécaniques et durabilité des éco-composités cimentaires à base de granulats de caoutchouc issus de pneus usagés, Thèse de doctorat, Université du 08 Mai 1945 de Guelma, Algérie.

C

- CASANOVA, P., LEMAOU, F, et SCHALLER, I. (1995).** Les fibres d'acier peuvent-elles remplacer les armatures transversales dans les poutres de béton armé, bulletin de liaison L.C.P.C, N° 195 Jan.-Fév.
- CHAFEI, S. (2014).** Influence de différents traitements sur les comportements rhéologique et mécanique d'un composite cimentaire mortier-fibres de lin (Thèse de doctorat). Université de Caen Basse-Normandie, Caen, France.

CHAFEI, S. (2014). Influence de différents traitements sur les comportements rhéologique et mécanique d'un composite cimentaire mortier-fibres de lin (Thèse de doctorat). Université de Caen Basse-Normandie, Caen, France.

CHAFEI, S., TRAN, T. H., KHADRAOUI, F., BOUTOUIL M, et GOMINA M. (2012). Influence du traitement des fibres de lin sur la rhéologie et les performances d'un mortier. In Recueil des communications du colloque International Francophone NoMaD 2012, p. 89 - 96. Toulouse, France: Université Paul Sabatier.

CHAFEI, S., KHADRAOUI, F. BOUTOUIL, M, et GOMINA, M. (2015). Effect of flax fibers treatments on the rheological and the mechanical behavior of a cement composite, *Construction and Building Materials* 79, 229-235.

CHAFEI, S., KHADRAOUI, F., BOUTOUIL, M. et GOMINA, M. (2015). Effect of flax fibers treatments on the rheological and the mechanical behavior of a cement composite. *Construction and Building Materials* 79, 229-235.

CHARLET, K. (2008). Contribution à l'étude de composites unidirectionnels renforcés par des fibres de lin : relation entre la microstructure de la fibre et ses propriétés mécaniques (Thèse de doctorat). Université de Caen, France.

CHARLET, K., BALEY, C., MORVAN, C., JERNOT, J.P., GOMINA, M, et BREARD, J. (2007). Characteristics of Hermès flax fibres as a function of their location in the stem and properties of the derived unidirectional composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 38, 1912-1921.

CHUNG, D.L.D. (2000). Cement reinforced with short carbon fibers: a multifunctional material. *Composites: Part B*, vol.31, n°6-7, p.511-526.

D

DARI, K. (1997). Analyse des systèmes agronomiques dans les OASIS Algériennes, Etude Technico-Economique. Département Agronomie, université de Ouargla.

DAVIS, E. A., C. DEROUET, C. HERVE DU PENHOAT, et C. MORVAN. (1990). Isolation and an N.M.R. study of pectins from flax (*linum usitatissimum* L.). *Carbohydrate Research* 197, 205-215.

DEBICKI, G. (1988). Contribution à l'étude du rôle de fibres dispersées anisotropiquement dans le mortier de ciment sur les lois de comportement, les critères de résistance et la fissuration des matériaux. Thèse de doctorat, INSA de Lyon, France. diss « *Ampelodesma Mauritanica* ». *Afrique Science*, Vol.4. pp. 231-245.

DITTENBER D.B., GANGARAO H.V.S. (2012). "Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 43, pp. 1419 – 1429. *eco-matériau de construction à base d'agroressources*". Thèse de Doctorat, Université de Engineering, Vol.36, pp. 449-462. *fibres naturelles pour matériaux composites à base de ciment*" *Canadian Journal of Civil*.

F

FLORES-MEDINA, N., BARLUENGA, G, et HERNANDEZ-OLIVARES, F. (2015). Combined effect of Polypropylene fibers and silica fume to improve the durability of concrete with natural Pozzolanic blended cement, *Construction and Building Materials*, vol.96, p.556-566.

H

HEARLE, J. W. S. (1963). The fine structure of fibers and crystalline polymers. III. Interpretation of the mechanical properties of fibers. *Journal of Applied Polymer Science* 7, 1207-1223.

HOUGET, V. (1992). Etude des caractéristiques mécaniques et physicochimiques de composites ciments fibres organiques, thèse de doctorat, INSA, Lyon, France, 1992.

HOURDET, D., G. Muller. (1991). Solution properties of pectin polysaccharides — III: Molecular size of heterogeneous pectin chains. Calibration and application of SEC to pectin analysis. *Carbohydrate Polymers* 16, 409-432.

J

JONATHAN PAGE. (2017). Formulation et caractérisation d'un composite cimentaire biofibré pour des procédés de construction préfabriquée. Génie civil. Normandie Université.

JUAREZ, C., DURÁN A., VALDEZ, P, et FAJARDO, G. (2007). Performance of “Agave le chequilla” natural fiber in portland cement composites exposed to severe environment conditions. *Building and Environment* 42, 1151-1157.

JUAREZ, C., FAJARDO, G, et VALDEZ, P. (2009) . “Caractérisation microstructurale des fibres naturelles pour matériaux composites à base de ciment” *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol.36, pp. 449-462.

K

KARECHE, A. (2014). Etude des matériaux à base de bois de palmier dattier-durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert. Mémoire de magister, Faculté de Technologie, Université El Hadj Lakhdar (Algérie).

KHAZMA, M., GI, A., DHEILLY, R. - M., ROUGIER, A, Et QUENEUEDEC, M. (2014). Optimization of flax shive-cementitious composites: Impact of different aggregate treatments using linseed oil. *Industrial Crops and Products* 61, 442-452.

KRIKER, A. (2005). Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec (Doctoral dissertation, Ecole nationale supérieure polytechnique).

KRIKER, A., BALI, A., DEBICKI, G. et KHENFER, M. M. (2005). Amélioration de la durabilité de matériaux cimentaire en environnement chaud et sec par valorisation des fibre végétales et sous-produits industriel locaux. Congrès international réhabilitation de construction et développement durable, Alger, 3-4 Mai.

KRIKER, A., G. DEBICKI, A. BALI, M. M. KHENFER, ET CHABANNET, M. (2005). Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate. *Cement and Concrete Composites* 27, 554-564.

L

LAZKO, J., DUPRÉ, B., DHEILLY, R. M, ET QUÉNEUEDEC, M. (2011). Bio-composites based on flax short fibers and linseed oil. *Industrial Crops and Products* 33, 317-324.

LE HOANG, T. (2013). Etude de caractérisation du comportement de composites cimentaires incorporant des fibres courtes de lin (Thèse de doctorat). Université de Caen Basse-Normandie, Caen, France.

LE TROEDEC, M., SEDAN, D., PEYRATOUT, C., BONNET, J. P., SMITH, A., GUINEBRETIERE, R, ET al. (2008). Influence of various chemical treatments on the composition and structure of hemp fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 39, 514-522.

LE TROEDEC, M., SEDAN, D., PEYRATOUT, C., BONNE, JP., SMITH, A., GUINEBRETIERE R, ET al. Influence of various chemical treatments on the composition and structure of hemp fibres. *Compos A* 2008;39:514-22.

LEICK, S., HENNING, S., DEGEN, P., SUTER, D, et REHAGE, H. (2010). Deformation of liquid-filled calcium alginate capsules in a spinning drop apparatus. *Physical Chemistry Chemical Physics* 12, 2950.

M

- MAGNIONT ,C. (2010).** “Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un écomatériau de construction à base d'agroressources”. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, p. 343.
- MAGNIONT, C. (2011).** Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un écomatériau de construction à base d'agroressources (PhDthesis). Université Paul Sabatier - Toulouse III, Toulouse, France.
- MANSUR, M. A., AZIZ, M. A. (1982).** A study of jute fibre reinforced cement composites. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete* 4, 75-82.
- MAYA, J.J., SABU,T.(2010).** Rubber Nanocomposites: Preparation, Properties and Applications; Chapitre 8, Sabu Thomas and Ranimol Stephen (Ed), John Wiley & Sons Pte Ltd.
- MERZOUD M., HABITA M.F. (2008).** “Elaboration de composite cimentaire à base de diss (AmpelodesmaMauritanica).*Journal Afrique Science*, Vol (2), 2008pp.
- MERZOUD, M. (2007).**Elaboration et caractérisation d'un matériau composite à base de fibres de diss dans la fabrication de la maçonnerie (Thèse de doctorat). Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
- MERZOUD, M. (2007).** Elaboration et caractérisation d'un matériau composite à base de fibres de diss dans la fabrication de la maçonnerie (Thèse de doctorat). Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
- MERZOUD, M., FERTIKH, S., HABITA, M. F, et GOUSAMIA, A. (2011).** Influence des absorptions par immersion et par capillarité sur les propriétés physico-mécaniques des composites à base de fibres naturelles locales (le diss), Vol. 10-086, p. 7. Présenté à INVACO2 - Innovation & valorisation en génie civil & matériaux de construction, Rabat, Maroc.
- MOHANTY, A. K., MISRA, M, et DRZAL, L. T. (2005).** (Eds.). Natural fibers, biopolymers, and biocomposites.CRC Press.
- MONREAL, P., MBOUMBA-MAMBOUNDOU, L. B., DHEILLY, R. M, et QUENEUDEC, M. (2011).** Effects of aggregate coating on the hygral properties of lignocellulosic composites.*Cement and Concrete Composites* 33, 301-308.
- N**
- NA 442. (2005).**Ciment, composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.
- NF EN 1015-3. (1999).**Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie - Partie 3 : détermination de la consistance du mortier frais (avec une table à secousses).
- NF EN 1015-6. (1999).**Méthodes d'essais des mortiers pour maçonnerie –PARTIE 6 , détermination de la masse volumique apparente du mortier frais.
- NF EN 196-1. (2006).** Méthodes d'essais des ciments – Détermination des résistances mécaniques.
- NF EN 934-2. (2012).**Adjuvants pour bétons, mortier et coulis - Partie 2 : adjuvants pour béton - Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage,
- NF P 15-431. (1994).** Liants hydraulique-Technique des essais ,détermination du temps de prise sur mortier normal.
- NF P18-452. (2017) :** Bétons – Mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers au maniabilimètre.
- NOZAHIC, V. (2012).** Vers une nouvelle démarche de conception des bétons de végétaux lignocellulosiques basée sur la compréhension et l'amélioration de l'interface liant/végétal - Application à des granulats de chenevotte et de tige de tournesol associés à un liant ponce/chaux(PhDthesis). Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, Clermont-Ferrand, France.

NOZAHIC, V., AMEZIANE, S. (2011). “Influence de différents traitements sur l’interface entre des particules lignocellulosiques et un liant minéral”. Le 29eme Rencontres universitaires de Génie Civil (AUGC), Tlemcen, pp. 236-246.

NOZAHIC, V., AMZIANE, S. (2012). Influence of sunflower aggregates surface treatments on physical properties and adhesion with a mineral binder. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 43, 1837-1849.

R

REDDY, N., YANG, Y. (2005). Biofibers from agricultural Byproducts for industrial applications, *TRENDS in Biotechnology*, 23, 22-27.

RIHOUEY, C., MORVAN, C., BORISSIVA, I., JAUNEAU, A, et DEMARTY, M. (1995). Structural features of CDTA-soluble pectins from flax hypocotyls. *Carbohydr. Polym.*

S

SAEID, H., IMAN S. H, et SEYED A. A, E. (2016). Mechanical behaviour of self-compacting concrete pavements incorporating recycled tire rubber crumb and reinforced with polypropylene fiber. *Journal of Cleaner Production*, vol.133, p.228-234.

SAIKIA D. (2010). “Studies of Water Absorption Behavior of Plant Fibers at Different Temperatures”. *Int J Thermophys*, Vol. 31, pp. 1020-1026.

SAVASTANO, H., AGOPYAN, V., NOLASCO, A.M, et Pimentel L. (1999). “Plant fibre reinforced cement components for roofing”. *Construction and Building Materials*, Vol.13, pp. 433-438.

SAWSEN, C., FOUZIA, K., Mohamed, B, et MOUSSA, G. (2015). Effect of flax fibers treatments on the rheological and the mechanical behavior of a cement composite. *Construction and Building Materials*, 79, 229-235.

SEDAN, D. (2007). Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment - Influence sur les propriétés mécaniques du composite (Thèse de doctorat). Université de Limoges, Limoges, France.

SEDAN, D. (2007). Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment - Influence sur les propriétés mécaniques du composite (Thèse de doctorat). Université de Limoges, Limoges, France.

SEDAN, D. (2007). Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment - Influence sur les propriétés mécaniques du composite (Thèse de doctorat). Université de Limoges, Limoges, France.

SEDAN, D., PAGNOUX, C., SMITH, A, et CHOTARD, T. (2008). Mechanical properties of hemp fibre reinforced cement: Influence of the fibre/matrix interaction. *Journal of the European Ceramic Society* 28, 183-192.

SELLAMI, A., MERZOUD, M, et AMZIANE, S. (2013). Improvement of mechanical properties of green concrete by treatment of the vegetals fibers. *Construction and Building Materials* 47, 1117-1124.

SHALWAN A., YOUSIF B.F. (2014). “Investigation on interfacial adhesion of date palm/epoxy using fragmentation technique”. *Materials & Design*, Vol. 53, pp. 928-937.

SIDAB. (2015) e, ligne : http://sidab.caci.dz/?page_id=427 the mechanical behavior of flax fibers and their unidirectional composites”. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 43, pp. 1226-1233.

T

TOLEDO FILHO, R. D., SCRIVENER, K., ENGLAND, G. L, etGHAVAMI, K. (2000).Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. *Cement and Concrete Composites* 22,127-143.Toulouse, p. 343.

V

VAN DE WEYENBERG, I., CHI TRUONG, T., VANGRIMDE, B , et VERPOEST, I. (2006).Improving the properties of UD flax fibre reinforced composites by applying an alkaline fiber treatment. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 37, 1368-1376.41510

Z

ZOVI, O. (2009).Fonctionnalisation et photo-polymérisation de l'huile de lin en vue de l'élaborationde nouveaux matériaux sans émissions de composés organiques volatiles (COV) (Thèse dedoctorat). Institut National des Sciences Appliquées, Rouen, France.

ANNEXES

Annexe - A : Fiche technique du ciment

	شركة الإسمنت لحجار السود			F03-01/1000
	FICHE TECHNIQUE CIMENT			
	date 06/08/2017	Version : 06	Page 1 sur 1	

CIMENT PORTLAND AU CALCAIRE CEMII/A-L 42,5N

CARACTERISTIQUE CHIMIQUE		CARACTERISTIQUE PHYSIQUE			CARACTERISTIQUE MECANIQUE	
ELEMENTS	% EN MASSE	NORME NA			NORME NA	EN MPa
PAF 975 °C	1 - 2	NA230	CONSISTANCE NORMALE	≥ 25	NA 442	COMPRESSION
CaO	55 - 65	NA230	DEBUT DE PRISE	≥ 60	NA 234	02 jours 13-17,5
SiO ₂	22 - 28	NA230	FIN DE PRISE	150 - 250		07 jours 23 - 33
Al ₂ O ₃	5 - 6	NA232	EXPANSION A CHAUD	≤ 10mm		28 jours 42.5 -47
Fe ₂ O ₃	3 - 3,6	NA231	SSBlaine cm ² /g	3300 - 4000		FLEXION
MgO	1 - 2	NA231			02 jours 3,0-4,0	
K ₂ O	0,3 - 0,6				07 jours 5,0-6,5	
Na ₂ O	0,1 - 0,16	NA440	RETRAIT SUR MORTIER μm/m	≤ 1000	28 jours 6,5-8,5	
SO ₃	1.8 - 2,5	COPOSITION POTENTIELLE EN %		% DES CONSTITUANTS		
CaOL	0,8 -1,8	C3S	52-58	CLINKER	≥ 74%	
CL ⁻	0 - 0,01	C2S	10 - 25	GYPSE	4 - 6%	
NB: Dans le mélange ajout: calcaire+tuf: le tuf est de l'ordre de 05%		C3A	8 - 12	CALCAIRE	16 %-18%	
		C4AF	9 - 13	pouzzolaine+ calcaire	/	
				calcaire + TUF	12 %-18%	

DOMAINE D'UTILISATION

Utilisation courante de notre ciment :

- Fondations (béton de propreté et béton de semelle en milieux non agressifs).
- Ouvrage en béton armé (Murs, Linteaux, Poteaux et dalle de compressions).
- Dallage en béton , Montage de mure et maçonnerie et Scellements de carrelage (Dalles, pierres et carrelage).
- Chape (mortier de ciment) .

PRECAUTION D'EMPLOI

Ce type de ciment ne convient pas pour :

- Ouvrages en milieux agressifs (terrains gypseux, sulfates, eaux industrielles) emploi obligatoire de ciment

ES pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates.

- Travaux à la mère (emploi obligatoire de ciment **PM** pour travaux à la mer).
- Bétonnage au dessous de 5 ° C (il est conseillé d'utiliser des ciments de résistance initiale élevée **R**)

STOCKAGE :

Eviter :

- Un stockage prolongé au-delà de trois (03) mois.
- Un stockage dans des endroits humides.

EMBALLAGE :

- Le ciment est emballé dans des sacs en papier kraft à 02 plis, le système de fermeture garantie l'inviolabilité du sac.

ATTENTION

- Un contact prolongé du ciment avec la peau peut être irritant.

Annexe -B : Fiche technique du superplastifiant

Notice technique
Edition Octobre, 2013
Version 01,2013
POLYFLOW®SR 3600



POLYFLOW®SR 3600

Superplastifiant haut réducteur d'eau pour béton à faible E/C hautes performances et long maintien d'ouvrabilité.

Description

Le POLYFLOW®SR 3600 est un adjuvant non chloré d'une nouvelle génération chimique à base d'éther polycarboxylique modifié. Cet adjuvant a été développé pour l'utilisation dans béton où haute qualité, durabilité, performance et ouvrabilité sont requises.

la nouvelle chimie du Le POLYFLOW®SR 3600:

Le POLYFLOW®SR 3600 se différencie des superplastifiants traditionnels par son action nouvelle et originale qui améliore de façon très significative le pouvoir dispersant sur le ciment.

cette nouvelle structure chimique agit sur le grain de ciment par répulsion électrostatique et effet stérique, c'est-à-dire en créant un obstacle physique au rapprochement des particules de ciment. L'état dispersé est ainsi amélioré.

De plus, cette réaction est la combinaison de deux actions successives. Dès l'incorporation du POLYFLOW®SR 3600 dans le mélange cimentaire, une première partie active agit immédiatement et la seconde est présente mais inactive l'hydratation du ciment, qui se déroule normalement, fait évoluer le PH du mélange vers la basicité, ce qui provoque la libération progressive des molécules complémentaires. Celles-ci travaillent de la même manière que les premières et prolongent donc l'état de dispersion évitant ainsi la floculation et donc le raidissement précoce du mélange.

Domaines d'application :

Le POLYFLOW®SR3600 est particulièrement recommandé pour l'élaboration de béton nécessitant un long maintien d'ouvrabilité et des performances mécaniques initiales élevées.

Le POLYFLOW®SR3600 est donc adapté à l'industrie du béton prêt-à-l'emploi et aux chantiers de Génie Civil.

Construction





Construction

Propriétés :

L'excellent effet de dispersion du POLYFLOW®SR 3600 permet de conserver une maniabilité très plastique ou fluide pendant plus de 1 heure 30 avec un faible rapport eau/ciment et sans effet de retard de prise.

Le POLYFLOW®SR 3600 apporte les avantages suivants au niveau de la mise en place, des performances et de la qualité intrinsèque du béton :

Augmente

- ☞ La résistance à la compression à jeune âge et à long terme
- ☞ La résistance à la flexion à jeune âge et à long terme
- ☞ Le module d'élasticité
- ☞ L'adhérence sur les aciers
- ☞ La résistance à la carbonatation
- ☞ L'imperméabilité
- ☞ La résistance aux agressions atmosphériques
- ☞ La qualité des parements et de la texture du béton

Diminue

- ☞ La vibration
- ☞ Le retrait
- ☞ Le risque de fissuration
- ☞ Le fluage

Caractéristiques

☞ Aspect	liquide
☞ Couleur	brun
☞ Masse volumique	1,05±0,02g/cm ³
☞ PH	5,5 ± 1
☞ Teneur en chlorures	<0,1%
☞ Extrait sec	22±1%

Mode d'emploi :

Le POLYFLOW®SR 3600 est un adjuvant pour béton qui doit être incorporé isolément. L'effet optimal est obtenu par incorporation du POLYFLOW®SR 3600 dans le béton en différé, c'est-à-dire après l'addition de 70% de l'eau de gâchage dans le malaxeur. Toutefois, il est possible d'incorporer Le POLYFLOW®SR 3600 dans l'eau de gâchage.





Construction

SOLU EST sp
 Zone Industrielle Sidi Salem
 ANNABA 23000-ALGERIE
 Tél/Fax : +213 38 53 94 68
 Tél: (040 9) 53 30 01 -32
 E-mail: solu@solu-est.dz
www.solu-est.dz

Recommandations

En cas de gel, réchauffer le produit jusqu'à une température proche de + 30°C et agiter mécaniquement.

Compatibilité :

Le POLYFLOW®SR 3600 est compatible avec la majorité des ciments.

Le POLYFLOW®SR 3600 n'est pas compatible avec certains plastifiants et super plastifiants .Consultez

Dosage

Plage normale d'utilisation :

0,3 à 3,0 % du poids du ciment , soit 0,28 à 2,86 L. pour 100 KG de ciment

Conditionnement :

☞ Container de 1100kg

☞ Fût de 220kg

Stockage

Stocker Le POLYFLOW®SR 3600 dans des conditions de températures supérieures à 5° C.

Mentions légales

les propriétés énumérées sont seulement à titre de conseils et ne constituent pas une garantie de performance .L'emploi des produits doit être adapté aux conditions spécifiques à chaque situation. Toutes nos fiches techniques sont mises à jour régulièrement , il est de la responsabilité de l'utilisateur d'obtenir la version la plus récente .

