

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET

DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL ET HYDRAULIQUE



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Spécialité : Génie civil

Option : Géo matériaux

Présente par :

RACHEDI Mokhtar

Ingénieur d'état en Génie Civil –U.A.T Laghouat

Thème :

N° d'ordre :

N° de série :

Contribution à l'Etude de la durabilité de mortier de plâtre à base de sable de dunes renforcé par des fibres de palmier dattier

Soutenu publiquement devant le jury composé de:

Mr KHENFER M.Mouldi	Pro	U. Laghouat	Président
Mr SAKER M.Lakhdar	Pro	U. Ouargla	Examineur
Mr BOUTOUTAOU Djamel	M.C.A	U. Ouargla	Examineur
Mr KRIKER Abdelouahed	Pro	U. Ouargla	Encadreur
Mr MOKHTARI Abdessamed	M.A.A	U. Ouargla	Co- Encadreur

Année 2013

Dédicace

Je dédié ce modeste travail :

A celle qu'elle a veillée sur moi pendant toujours, ma chère mère,

A mon très cher père,

A toute ma famille, mes frères, mes sœurs,

A tous mes amis

A tous les enseignants du département de génie civil.

M. RACHEDI

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à remercier en premier lieu DIEU Miséricordieux qui m'a donné la volonté et la patience pour achever ce mémoire.

*J'adresse ma profonde et respectueuse gratitude à Monsieur **KRIKER Abdelouahed** directeur de ce mémoire, qui a dirigé ce travail de recherche attentivement et efficacement l'évolution de ce travail.*

*Je remercie mon Co-promoteur Monsieur **MOKHTARI Abdessamed**, enseignant au département de génie civil et hydraulique à l'université de Ouargla pour ses conseils et ses directives.*

*Je remercie vivement Monsieur **KHANFAR Mohamed Mouldi**, Professeur à l'Université de Laghouat pour l'honneur qu'il m'a fait accepter de présider le jury d'examen de ce mémoire.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à messieurs **SAKER M.Lakhdar**, Professeur à l'Université de Ouargla et Monsieur **BOUTOUTAOU Djamel** Maître de conférences à l'Université de Ouargla pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en acceptant d'en être examinateurs.*

A tout le personnel de :

Ø Laboratoire LTP Sud de Ghardaïa.

Ø Laboratoire LGB de Ghardaïa.

Ø Laboratoire de recherche de Génie Civil de l'Université de Laghouat.

Enfin, Que tous les enseignants qui ont contribué à ma formation trouveront ici ma profonde reconnaissance.



Sommaire

SOMMAIRE

ملخص	.....	I
Résumé	.....	II
Abstract	.....	III
Liste des figures	.....	IV
Liste des tableaux	.....	VIII
Liste des photos	.....	X
Liste des symbole	.....	XI

Introduction	01
---------------------	-------	----

Chapitre I : Généralités sur plâtre et les fibres

Partie A : Généralités sur plâtre et mortier de plâtre

I-Introduction	.....	04
II-Généralité sur plâtre	.....	04
II.1-Originie	.....	04
II.2-Fabrication de plâtre	.....	05
II.3- Les différents types de plâtres	.....	06
II.4- propriétés physiques du plâtre	.....	07
4.1- Prise	.....	07
a) Accélérateurs de prise	.....	08
b) Retardateurs de prise	.....	08
c) Épaississeurs et rétenteurs d'eau	.....	08
4.2- durcissement	.....	09
4.3-Isolation thermique et régulation de l'hygrométrie	.....	09
4.4-Isolation acoustique	.....	09
4.5-Résistance au feu	.....	10
II. 5- propriétés mécanique. et mise en œuvre du plâtre.	.....	10
5.1-la pate pure de plâtre	.....	11
5.1.1-les propriétés de la pate pure	.....	11
a) La densité	.....	11
b) Les résistances mécaniques	.....	12
5.2-le Mortier de plâtre	.....	12
5.2.1- Influence du rapport S/P sur les résistances mécaniques du mortier	.....	13
5.2.2- Influence du rapport E/P sur les résistances mécaniques du mortier	.....	14
5.3-le béton de plâtre	.....	15
5.3.1- influence du pourcentage des graviers sur propriétés mécaniques des bétons de plâtre.	.....	15
a) Résistance à la compression	.....	15
b) Résistance à la flexion	.....	16
II. 6- Domaine d'application des éléments à base de plâtre	.....	17
III- conclusion	.....	18

Partie B : Les fibres végétales

I-Introduction	19
II- Les fibres végétales	19
II.1- Définition	19
II.2- Origines des fibres végétales	20
II.3- Structure d'une fibre	20
II.4- Caractéristiques Chimiques des Fibres Végétales	21
a) La Cellulose	22
b) Hémicellulose	22
c) Lignine	22
II.5- Caractéristiques Physiques et Mécaniques des Fibres Végétales	23
II.6- Utilisation des Fibres Végétales dans le domaine de génie civil	24
II.7- Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux de construction	24
III- conclusion	25

Chapitre II : Les composites renforcés par fibres végétales

I-Introduction	26
II- Les propriétés des composites renforcés par des fibres végétales	26
II.1- Propriétés à l'état frais	26
II.2- Propriétés à l'état durci	28
2.1- propriétés physiques	28
a) Densité	28
b) Absorption d'eau	29
c) Module de Young	30
2.2- propriétés mécaniques	30
III- Effet du blanchissement des fibres sur les propriétés mécaniques des composites	36
IV- Durabilité des composites renforcé par fibres végétales	37
V- Conclusion	40

Chapitre III : Caractéristiques des matériaux utilisé et étude composition de mortier de plâtre

I-Introduction	41
II- Caractéristiques des différents matériaux utilisés	41
II.1- Sable des dunes	41
1.1-Masses volumiques	41
1.2- Analyse minéralogique du sable des dunes	42
1.3-Analyse chimique du sable de dune	43
1.4-Analyse granulométrique de sable de dune	43
1.5-Modules de finesse de sable de dune	44
1.6- Equivalent de sable	45
II.3- Eau de gâchage	46
II.4- Chaux	46

4.1- L'effet de chaux sur la prise de plâtre	46
4.2- L'effet de chaux sur pH de plâtre	47
4.3- Composition chimique de chaux	48
II.5- Fibres	49
5.1- les propriétés physiques et mécaniques des fibres de palmier dattier	49
5.2- Compositions minéralogique des fibres de palmier dattier	49
5.3- Microstructure des fibres de palmier dattier	50
II.6- Plâtre	53
6.1- Compositions minéralogique et chimique de plâtre	53
6.2- Propriétés essentiel de plâtre	54
III- Etude et composition de mortier.de plâtre.....	55
III.1- Plan de travail	55
III.3- Méthode d'essai	56
III-4 Etude la composition de plâtre. et mortier.de plâtre.....	57
4-1 Détermination du rapport de E/P de pate de plâtre pure	57
4-2 Détermination du rapport de S/P de mortier de plâtre	58
4-3 Détermination du rapport de E/(P+S) de mortier de plâtre	59
4-4 Etude de la variation de la résistance à la compression et à la flexion de plâtre pure et mortier de plâtre	61
4.4-1 Etude de la variation de la résistance à la compression de plâtre pure et mortier de plâtre	61
4.4-2 Etude de la variation de la résistance à la flexion de pate de plâtre pure et mortier de plâtre	62
IV- Conclusion	64

Chapitre IV : Caractérisation et durabilité de mortier de plâtre de fibres de palmier dattier

I-Introduction	65
II- Méthode expérimentale	65
III- Préparation de mortier de plâtre.....	65
III.1- Formulation de mortier. de.plâtre sans fibre.....	66
III.2- Préparation des Fibres.....	66
III.3- Formulation de mortier. de.plâtre avec fibre.....	66
IV- Confections des éprouvettes. et. conditions. de. conservation.....	67
V- Procédures des essais	67
V.1- Détermination de la masse volumique.....	68
V.2- Essais d'absorption d'eau. par. immersion.....	68
V.3- Essais gel-dégel	68
V.4- Essais de résistances mécaniques.....	69
VI- Méthode de travail	69
VII- Etude de la composition de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier	70

VII.1- Variation des propriétés physiques et mécaniques du mortier de plâtre renforcé par des fibres de longueur de 10 mm avec des différents pourcentages	71
1.1- La densité	71
1.2- L'absorption d'eau	72
1.3- La résistance à la compression	73
1.4- La résistance à la flexion	75
1.5- Récapitulation	76
VII.2- Variation des propriétés physiques et mécaniques du mortier de plâtre renforcé par différentes longueurs des fibres pour un pourcentage de 1,5% de fibres	76
2.1- La densité	77
2.2- L'absorption d'eau	77
2.3- La résistance à la compression	78
2.4- La résistance à la flexion	80
2.5- Récapitulation	81
VIII- La composition optimale de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier	81
IX- Durabilité de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier	82
IX.1- la variation de la résistance à la compression et à la flexion en fonction de temps	82
1.1- La résistance à la compression	82
1.2- La résistance à la flexion	84
IX.2- L'effet de gel-dégel sur les propriétés mécaniques de mortier de plâtre renforcé par des fibres de palmier dattier	85
2.1- La résistance à la compression	86
2.2- La résistance à la flexion	88
IX.3- L'effet de séchage sur les propriétés mécaniques de mortier de plâtre renforcé par des fibres de palmier dattier	89
3.1- La résistance à la flexion	90
3.2- La résistance à la compression	92
3.3- L'effet de traitement thermique sur les propriétés mécaniques de mortier de plâtre renforcé par fibres palmier dattier à long terme	93
X- Conclusion	96
Conclusions générales et recommandations.....	98
Références bibliographiques.....	103

Résumés

الملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة, هو تقيم المواد المحلية (الجبس , رمل الكثبان و ألياف النخيل) لمنطقة الجنوب الجزائري. وذلك بتوسيع مجالات استعمال هذه المواد في مجال البناء. فإننا نلاحظ رغم توفر الجبس بصفة كبيرة جدا إلا أن استعماله يقتصر على بعض الأشغال الثانوية مثل الطلاء و العناصر التجميلية, كما أن رمال الكثبان و ألياف النخيل واستعمالها في ميدان البناء نادر جدا.

من خلال هذه الدراسة تم إضافة رمال الكثبان وألياف النخيل إلى الجبس و ذلك من اجل إيجاد ملاط ذو خصائص فيزيائية و ميكانيكية تسمح باستعماله من مجال البناء.

أولا قمنا بإضافة الرمل للجبس فكانت أهم النتائج كما يلي :

- نقص في المقاومة للضغط و الانحناء.
- زيادة في الكثافة

ثانيا تم اضافة الالياف لملاط الجبس, فكانت اهم نتائج النتائج كمايلي:

- زيادة في مقاومة الضغط و الانحناء.
- نقص في الكثافة.

اما تجارب الديمومة على ملاط الجبس المعزز بالياف النخيل اعطت النتائج التالية:

- زيادة في مقاومة للضغط و للانحناء بمرور الزمن, مع حفاظ الألياف على خصائصها.
- تجربة التجمد لها آثار سلبية على الخصائص الميكانيكية للملاط.
- معالجة الملاط بالحرارة لها نتائج جيدة, تسمح بتسريع عملية الانتاج و بالتالي زيادة في المردود المادي.

من خلال النتائج المتحصل عليها, يمكن استعمال ملاط الجبس المعزز بالياف النخيل في ميدان البناء وذلك بانتاج الواح الجدران مسبقة الصنع, سواء كانت جدران حاملة او لتغطية الواجهات.

الكلمات الدلالية : الجبس, رمال الكثبان, الياف النخيل, المقاومة الميكانيكية, الديمومة .

Résumé

L'objectif principal de cette étude c'est la valorisation des matériaux locaux (plâtre, sable de dunes et les fibres de palmier dattier) pour la région du sud algérien, élargir le domaine de l'utilisation de ces matériaux dans la construction. Nous notons que malgré l'existence énorme de gypse, mais son utilisation est limitée à certains travaux secondaires tels que les enduits et les éléments de décor. Le sable des dunes et les fibres de palmier, son utilisation dans le domaine de la construction sont très rare.

Au cours de cette étude, il a été ajouté le sable de dunes et les fibres de palmier au plâtre, afin de trouver un mortier ayant des propriétés physiques et mécaniques qui permettent son utilisation dans la construction.

Tout d'abord, nous avons ajouté le sable au plâtre, nous avons conclu les résultats suivants:

- Il ya une diminution de la résistance à la compression et de flexion,
- Il ya une augmentation de la densité.

Deuxièmement, nous avons ajouté les fibres au mortier de plâtre, les résultats conclus sont les suivants:

- Il ya une augmentation de la résistance à la compression et à la flexion,
- Il ya une diminution de la densité.

Les essais de durabilité sur le mortier de plâtre renforcé par les fibres de palmier dattier donnent les résultats suivants :

- Augmentation de la résistance à la compression et à la flexion, et les fibres gardent leurs propriétés initiales,
- L'essai de gel-dégel a un effet défavorable sur les caractéristiques mécaniques de mortier de plâtre fibré,
- Le traitement thermique de mortier de plâtre fibré donne des bonnes résultats, et nous permettons d'accélérer le processus de production c'est-à-dire un gain dans l'argent.

A partir de résultats obtenus, on peut utiliser le mortier de plâtre renforcé par des fibres de palmier dattier dans le domaine de constructions sous plusieurs formes tel que les plaques des murs préfabriqué, quelque soit pour les murs porteurs ou les plaques de couvertures des façades.

Mots clés : plâtre, sable de dunes, les fibres de palmier dattier, la résistance mécanique, durabilité.

Abstract

The aim of this study is the use of local materials (plaster, sand dunes and date palm fiber) for the region of southern Algeria. By expand areas of the use of these materials in the field of construction. Despite the large amount of gypsum, its use is limited to some secondary operations like coatings and decorative elements. The sand dunes and palm fiber, its use in the construction are very limited.

In this study, the sand dunes and palm fiber was added to plaster, to find the mortar that has physical and mechanical properties that allow its use in construction.

First, we added the sand to plaster, we noticed that:

- a decrease in compressive strength and flexural
- an increase in density.

Second, we added fiber to plaster mortar, we find :

- an increase in the resistance to compression and bending,
- a decrease in density.

The durability tests on mortar plaster reinforced with date palm fibers show the following results:

- Increase in compressive strength and flexural strength, and fiber keep the same shape and properties
- The freeze-thaw test has an adverse effect on the mortar of plaster reinforced,
- Heat treatment mortar of plaster reinforced gives good results, and allows us to accelerate the production process that is to say an increase in the monies.

From the results obtained, we can use the plaster mortar reinforced with fibers of date palms in the field of constructions in various forms such as plates prefabricated walls, regardless of load-bearing walls or cover plates facades.

Keywords: plaster, sand dunes, date palm fibers, strength, durability.

Liste des figures

Figure I.1 : Influence du rapport E/P sur la densité.....	11
Figure I.2 : Influence du rapport E/P sur les résistances mécaniques.....	12
Figure I.3 : Influence du rapport S/P sur la résistance à la compression.....	13
Figure I.4 : Fuseau granulométrique des sables. Analyse granulométrique NF P 18-804.....	14
Figure I.5 : Influence du rapport E/P sur la résistance à la compression avec S/P=0,5.....	14
Figure I.6 : variation de la résistance à la compression du béton de plâtre en fonction du pourcentage des graviers.....	16
Figure I.7 : variation de la résistance à la flexion du béton de plâtre en fonction du pourcentage des graviers.....	17
Figure I.8 - Classification des fibres végétales en fonction de leurs origines.....	20
Figure I.9 - Molécule de la cellulose (n répétitions du motif cellobiose).....	21
Figure II.1 : Variation de densité de béton de plâtre en fonction de pourcentage et longueur des fibres de palmier dattier.....	28
Figure II.2 : Variation d'absorption d'eau de béton de plâtre en fonction de pourcentage et longueur des fibres de palmier dattier.....	29
Figure II.3 : Variation de module de Young de béton de plâtre en fonction de pourcentage et longueur des fibres de palmier dattier.....	30
Figure II.4 : Courbes du comportement typique d'un échantillon de ciment pur (1) et d'un composite ciment/fibres de chanvre (2) en flexion 3 points.....	31

Liste des figures :

Figure II.5 : Influence du dosage et de la longueur des fibres de jute sur les propriétés du composite.....	32
Figure II.6 : Evolution de la résistance en flexion et du module d'élasticité d'une pâte de ciment renforcée par des fibres de chanvre en fonction de la teneur en fibres.....	33
Figure II.7 : Courbe contrainte/déplacement type d'une matrice de plâtre renforcée par des fibres de sisal.....	34
Figure II.8 : Influence du dosage et de la longueur des fibres de sisal sur les propriétés mécaniques en flexion des composites à matrice de plâtre.....	35
Figure II.9 : Définition des grandeurs caractéristiques du comportement en flexion d'un composite fibré.....	38
Figure II.10 : Comportement mécanique en flexion 3 points d'une matrice cimentaire renforcée par des fibres de chanvre brutes (FIB) et des fibres de chanvre traitées avec une solution de soude (FIBNA), de chlorure d'aluminium (FIBAL) et de chaux (FIBCA) à 28 jours (A) et après 12 mois de vieillissement.....	38
Figure II.11 : Effet des cycles de vieillissement sur le comportement mécanique en flexion 3 points de ciment renforcé par des fibres de conifères naturel.....	39
Figure III.1 : Diffractogramme de sable des dunes.....	42
Figure III.2 : Analyse granulométrique de sable des dunes.....	44
Figure III.3 : Essai d'équivalent de sable.....	45
Figure III.4 : Influence du pourcentage de la chaux sur le temps de prise du plâtre.....	46
Figure III.5 : Variation du pH du plâtre en fonction du pourcentage de chaux.....	47
Figure III.6 : Diffractogramme de la poudre de la chaux par les rayons X.....	48
Figure III.7 : Diffractogramme de la poudre de fibre du palmier par les rayons X.....	54
Figure III.8 : Dispositif pour l'essai de résistance à la Flexion trois points.....	56

Liste des figures :

Figure III.9 : Dispositif pour l'essai de rupture en compression.....	57
Figure III.10 : Influence de E/P sur la résistance mécanique à la compression de pâte plâtre pure.....	58
Figure III.11 : Influence de S/P sur la résistance mécanique à la compression de mortier de plâtre.....	59
Figure III.12 : Influence de E/(P+S) sur la résistance mécanique à la compression de mortier de plâtre.....	60
Figure III.13 : Variation de résistance mécanique de compression de plâtre et mortier de plâtre dans le temps.....	62
Figure III.14 : Variation de résistance à la flexion de plâtre et mortier de plâtre dans le temps.....	63
Figure IV.1 : Variation de la densité de mortier de plâtre en fonction du pourcentage en masse de fibres.....	72
Figure IV.2 : Variation de l'absorption de l'eau de mortier de plâtre en fonction du pourcentage en masse de fibres.....	73
Figure IV.3 : Variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre en fonction du pourcentage en masse de fibres.....	74
Figure IV.4 : Variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre en fonction du pourcentage en masse de fibres.....	75
Figure IV.5 : Variation de la densité de mortier de plâtre en fonction de différentes longueurs de fibres.....	77
Figure IV.6 : Variation de l'absorption d'eau de mortier de plâtre en fonction de différentes longueurs de fibres.....	78
Figure IV.7 : Variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre en fonction de différentes longueurs de fibres.....	79

Liste des figures :

Figure IV.8: Variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre en fonction de différentes longueurs de fibres.....	80
Figure IV.9 : variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction de temps.....	83
Figure IV.10 : variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction de temps.....	84
Figure IV.11 : variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction des cycles de gel-dégel.....	87
Figure IV.12 : variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction des cycles de gel-dégel.....	88
Figure IV.13 : la variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction du temps de séchage pour différentes température.....	91
Figure IV.14 : la variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction du temps de séchage pour différentes température.....	92
Figure IV.15 : la variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction différentes température.....	94
Figure IV.16 : la variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction différentes température.....	95

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Phases de déshydratation du gypse	7
Tableau I.2 : Propriétés caractéristiques des deux variétés usuelles de semi-hydrate.....	9
Tableau I.3 : Caractéristiques thermiques du plâtre.....	10
Tableau I.4 : composition et propriétés de différentes fibres végétales.....	21
Tableau I.5 : Composition chimique de quelques fibres végétales.....	22
Tableau I.6 : Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales....	23
Tableau I.7 : avantages et inconvénients des fibres végétales.....	25
Tableau II.1 : Propriétés mécaniques de plâtre avec différentes natures de fibres.....	36
Tableau III.1 : Compositions chimique de sable.....	43
Tableau III.2 : Analyse granulométrique de sable des dunes.....	43
Tableau III.3 : Propriétés physiques et mécaniques des fibres utilisées.....	49
Tableau III.4 : Analyse chimique de la poudre des fibres calcinées à 400 °C.....	49
Tableau III.5 : Analyse chimique du plâtre.....	53
Tableau III.6 : propriétés essentiel de plâtre.....	54
Tableau III.7 : Influence d'E/P sur la résistance mécanique à la compression de plâtre pure.	57
Tableau III.8 : Influence de S/P sur la résistance mécanique à la compression de mortier de plâtre.....	59
Tableau III.9 : Influence de E/(P+S) sur la résistance mécanique à la compression de mortier de plâtre.....	60
Tableaux III.10 : La résistance mécanique de compression de plâtre et mortier de plâtre....	61
Tableau III.11 : La résistance mécanique à la flexion de plâtre et mortier de plâtre.....	63
Tableau IV.1 : Variation des propriétés physiques et mécaniques du mortier de plâtre renforcé par différentes dosage de fibre.....	71
Tableau IV.2 : Variation des propriétés physiques et mécaniques du mortier de plâtre renforcé par différentes longueurs de fibres.....	76

Liste des tableaux :

Tableau IV.3 : la variation de la résistance à la compression et à la flexion en fonction de temps.....	82
Tableau IV.4 : la variation des propriétés mécaniques en fonction des cycles de gel-dégel...	86
Tableau IV.5 : variation de propriétés mécaniques en fonction du temps de séchage pour différentes température.....	90
Tableau IV.6 : la variation de propriétés mécaniques en fonction différentes température...	94

Liste des photos

Photo I.1- Image MEB des plâtres prestia (usine Meriel du groupe Lafarge) obtenus respectivement par voie humide (α) et par voie sèche (β).....	6
Photo I.2- Les différentes formes de fibres.....	19
Photo III.1 : Observation de texture de fibre du palmier par MEB.....	50
Photo III.2 : Observation d'une coupe transversale de la fibre du palmier par MEB.....	51
Photo III.3 : Observation d'une vue longitudinale de la fibre du palmier par MEB.....	52
Photo III.4 : Observation des pores dans la fibre du palmier par MEB.....	52
Photo III.5 : Observation d'une vue tangentielle de la fibre du palmier par MEB.....	53

Liste des Symboles

E : Eau.

P : Plâtre.

S : Sable.

L : Longueur des fibres

λ : Conductivité thermique

C_p : Capacité thermique massique

μ : Facteur de résistance à la vapeur d'eau

R_c : Résistance à la compression.

R_f : Résistance à la flexion.

E : Module d'élasticité.

d : La densité.

W : Absorption d'eau.

σ_m : La contrainte maximale de la matrice.

σ_c : La contrainte maximale du composite.

R_{chute} : La résistance de chute.

ρ_a : La masse volumique apparente.

ρ_s : La masse volumique absolue.

M_F : Le module de finesse du sable.

E_{SV} : Equivalent de sable visuel.

E_{Sp} : Equivalent de sable au piston.

W_s : teneur en eau de saturation..

T : Température de cure.

t : Temps de cure.



Introduction

Introduction :

Le Protocole de Kyoto sur les changements climatiques mondiaux a eu pour effet d'accélérer la transition vers une économie durable et plus respectueuse de l'environnement. Cette évolution s'effectue avant tout par le remplacement progressif des produits pétrochimiques par des ressources renouvelables, tel que l'exploitation des matériaux locaux de manière rationnelle. La recherche actuelle sur les matériaux s'intéresse au développement de nouveaux composites de matériaux de constructions, dans le but d'améliorer les propriétés mécaniques, physiques et durabilité de ces matériaux.

L'Algérie, surtout le sud, est riche en matériaux naturels, qui peut être utilisé directement dans le domaine de la construction alors il faut bien étudier leurs propriétés afin d'étendre leur utilisation. Parmi ces matériaux, qui peuvent être exploités, et que nous allons étudier, le plâtre, sable de dune, et les fibres du palmier dattier.

L'utilisation des fibres végétales dans le renforcement des matériaux de construction pour améliorer certain propriétés, c'est la technologie le plus utilisé actuellement, à cause ces résultats et pour élargir l'utilisation des éco-matériaux. Algérie dispose de sources illimitées de fibres végétales (de palmier, Alfa Abaca, Chanvre, Cotton ...), mais leur utilisation dans le domaine de la construction presque inexistante.

La plupart des pays du monde souffrent d'une pénurie des ressources en granulats, ce qui nous pousse à chercher des solutions permettant la valorisation de ces matériaux disponibles localement en abondance et d'essayer de les utiliser dans différents domaines de construction. En Algérie, le sable des dunes constitue un énorme gisement surtout au sud, mais son utilisation dans le domaine de la construction est très limitée. Donc, il faut faire des études rigoureuses pour intégrer le sable de dune dans les composants de base des matériaux de construction.

D'après des études géologiques, l'Algérie dispose d'abondantes ressources en gypse naturel dont la teneur dépasse les 75% requis pour la construction, le sud du pays notamment en possède d'importants gisements. Longtemps, le plâtre utilisé comme enduit ou en éléments préfabriqués pour réaliser des cloisons légères, et de faible prix de revient. Toutefois, trop faibles propriétés mécaniques n'en font pas un matériau de structure à proprement dit. Cette caractéristique est peut être responsable du fait que peu de

Introduction :

recherche ne soit consacrée à ce matériau. Il est donc nécessaire de développer des nouvelles techniques de caractérisation, permettant de modifier sa propriété et de suivre son comportement à court et à long terme, pour une meilleure exploitation de ses propriétés d'usage.

L'objectif de ce travail consiste à apporter notre contribution à la valorisation des matériaux locaux, tel que le plâtre, sable de dune et les fibres du palmier dattier. et de l'intégrer d'une façon rationnelle dans le domaine de la construction.

L'étude proprement dite propose deux objectifs essentiels et qui sont :

- Etude de composition d'une pate de plâtre pure et un mortier de plâtre à base de sable de dune.
- L'amélioration de certaines propriétés physiques et mécaniques du mortier de plâtre par son renforcement avec les fibres du palmier dattier. et l'étude de la durabilité de ce matériau.

Ce travail est scindé en quatre chapitres :

Le premier chapitre est une recherche bibliographique qui se divise en deux parties :

- § La première partie est une description du plâtre, et ses caractéristiques et ses propriétés physiques et mécaniques que soit pate pure, mortier, ou béton et prescrire aussi les méthodes de fabrication ainsi que leurs domaines d'application.
- § Dans la deuxième partie, nous citons les différents types des fibres végétales, ses essentielles caractéristiques physiques, mécaniques, et chimiques, et leurs utilisations dans le domaine de génie civil.

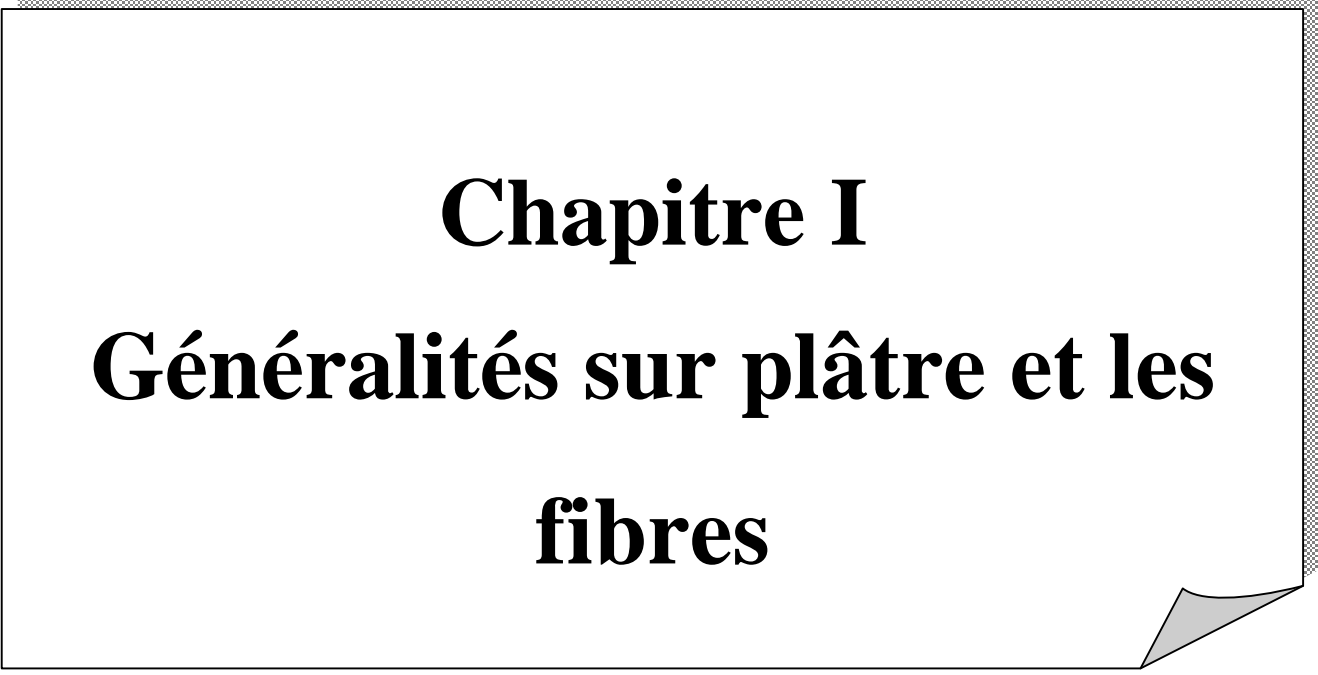
Le deuxième chapitre est consacré aux caractéristiques générales des matériaux renforcé par des fibres végétales, et les principales propriétés physiques et mécaniques de ces matériaux ainsi leurs utilisations dans le domaine de génie civil et enfin nous présentons quelque recherche sur la durabilité de ces matériaux.

Introduction :

Dans le troisième chapitre, nous avons étudié les principales propriétés physiques et chimiques de nos matériaux de base : le plâtre, le sable de dune, et les fibres de palmier dattier. et nous étudions aussi la composition optimale de pâte pure de plâtre et le mortier de plâtre de sable de dunes.

Le quatrième chapitre concerne l'étude de mortier de plâtre renforcé par les fibres de palmier dattier. Au début, on a utilisé la composition optimale que nous avons trouvée précédemment, et déterminé la fraction massique et la longueur des fibres optimales. Ensuite, on a étudié le matériau sélectionné à les essais de gel-dégel, l'effet de séchage à court et long terme.

Enfin, nous présentons une conclusion générale sur l'étude élaborée et cela d'après les résultats expérimentaux obtenus, tout en donnant des recommandations à les prendre en considération dans les prochaines recherches et cela pour une meilleure exploitation de ce matériau.



Chapitre I
Généralités sur plâtre et les
fibres

Généralités sur plâtre et les fibres

Partie A : Généralités sur plâtre et mortier de plâtre

I-Introduction

Le plâtre est un des plus vieux matériaux de construction utilisé par l'homme, les premiers signes d'emploi de plâtre remontent à environ 9000 ans, sous forme de support pour fresques murales (fouilles en Anatolie). La faible température nécessaire à la production de poudre de plâtre et l'abondance de gypse naturel dans la nature expliquent cette ancienneté d'utilisation.

Actuellement, le plâtre est utilisé soit directement en enduits, ou bien en éléments préfabriqués, carreaux ou plaques (couche de plâtre entre deux cartons). C'est un matériau particulièrement adapté à une utilisation en intérieur, grâce à ses propriétés d'isolation thermique et acoustique et sa résistance au feu. La conductivité thermique d'un enduit de plâtre est de l'ordre de $0,26 \text{ W.m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, contre 1,15 pour un enduit de ciment ou 50 pour l'acier [1].

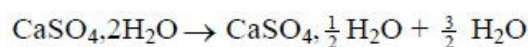
II-Généralité sur plâtre

II.1-Origine

La pierre de plâtre est un sulfate de calcium qui se trouve dans la nature sous deux formes :

- L'anhydrite, ou sulfate de calcium anhydre, assez rare, qui répond à la formule chimique CaSO_4 .
- Le gypse, ou sulfate de calcium à deux molécules d'eau, di hydraté, très abondant, qui répond à la formule chimique $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Le mot plâtre désigne à la fois le matériau de structure solide (plâtre pris) et la poudre qui permet de l'obtenir, cette poudre (sulfate de calcium hémi hydraté, $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) s'obtient en déshydratant du gypse, selon la réaction [2]:



II.2-Fabrication de plâtre

Après extraction des mines, le gypse est broyé puis cuit dans des fours à lits fluidisé ou à flammes directes. Soumis ainsi à l'action de la chaleur, il perd tout ou une partie de son eau de cristallisation et conduit à une série de produits partiellement hydratés ou anhydres.

Selon les conditions de pression et de vapeur d'eau imposées, on distingue deux principes de cuisson :

- ü La Cuisson par voie sèche (la plus utilisée, car moins coûteuse), est réalisée à la pression atmosphériques ou sous une faible pression partielle de vapeur d'eau. Vers des températures de 140 à 170 °C, l'eau du gypse s'élimine à l'état de vapeur sèche et donne un solide microporeux constitué d'un assemblage de microcristaux, (figure I.1), c'est l'hemi hydrate β , il nécessite un taux de gâchage $e/p < 0,6$. Il s'agit du composé principal de plâtres courants utilisés en tant que matériau de construction. Par chauffage vers 400 à 600 °C on obtient de l'anhydrite II, (CaSO₄).
- ü La Cuisson par voie humide qui s'effectue sous pression saturante de vapeur d'eau dans des autoclaves sous 2 à 7 bars pendant quelques heures. Le produit obtenu est l'hemihydrate α , il nécessite un taux de gâchage faible $e/p = 0,4$ et donne des plâtres dits "durs" ayant de très bonnes résistances mécaniques. Les plâtres courants qui se présentent sous forme d'une poudre blanche sont constitués soit :
 - § d'hemihydrate β (CaSO₄, 2/1 H₂O) qui est le principal constituant des plâtres, la formule correspondant à 93,79% de sulfate de calcium CaSO₄ et 6,21% d'eau de cristallisation.
 - § d'un mélange d'hemihydrate β avec de l'anhydrite II (CaSO₄) dans la proportion d'environ 2/3 d'hemihydrate et 1/3 d'anhydrite II, il est à noter que plus la proportion d'anhydrite II est importante plus le durcissement est étalé dans le temps.
 - § d'hemihydrate α , compact, cristallin, faiblement soluble dans l'eau

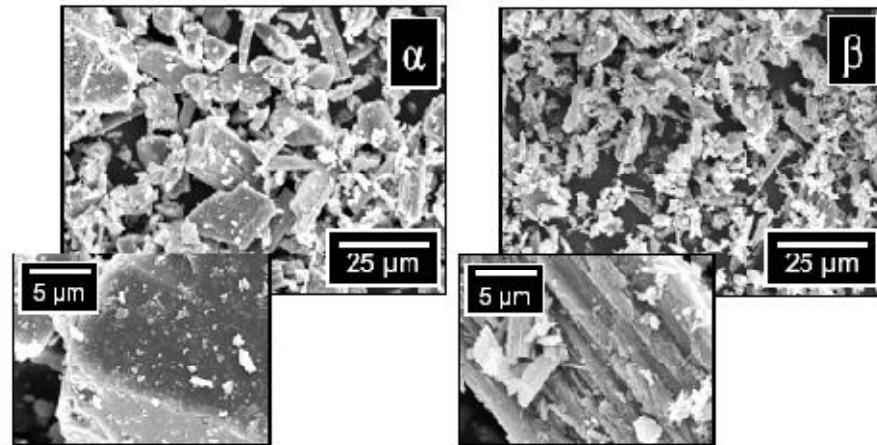


Photo I.1- Image MEB des plâtres prestia (usine Meriel du groupe Lafarge) obtenus respectivement par voie humide (α) et par voie sèche (β) [2].

II.3- Les différents types de plâtres

Les principaux types de plâtres commercialisés ainsi que leurs utilisations les plus courantes bien que non exhaustives sont en fonction des différentes variétés suivantes :

- Plâtres gros qui ont une forte granulométrie. Le refus au tamis de 800 μ pouvant être compris entre 5 et 20%. Ils peuvent être utilisés purs ou additionnés soit de sable, soit d'un mélange de sable et de chaux, et servent en principe pour la première couche des enduits, pour effectuer le dressage des murs et plafonds, pour exécuter des remplissages en forte épaisseur des scellements etc.
- Plâtres fins à enduire, pour lesquels le refus au tamis de 800 μ est inférieur à 1% et celui au tamis de 200 μ est de l'ordre de 25%. Il existe plusieurs types, soit normaux, ou présentant une très haute dureté (T.H.D) ou encore allégés à la perlite. Ces plâtres se gâchent généralement dans un rapport e/p voisin de l'unité. Ils peuvent être appliqués manuellement ou projetés mécaniquement.

L'industrie plâtrière fournit également des plâtres à usages particuliers, c'est ainsi que l'on trouve les plâtres à briqueter, destinés au montage des cloisons de distribution, les plâtres chaux de surfacage, ainsi et surtout les plâtres pour préfabrication, essentiellement utilisés pour la fabrication de carreaux de plâtre, d'éléments de cloison en plaques de parement [2].

Tableau I.1 : Phases de déshydratation du gypse [1]

Phase	CaSO ₄ . 2 H ₂ O	CaSO ₄ . 1/2 H ₂ O		CaSO ₄		
		Forme α	Forme β	Forme III	Forme II	Forme I
Appellation	Gypse	Semi-hydrate α	Semi-hydrate β	Anhydrite III ou anhydrite soluble	Anhydrite II ou anhydrite insoluble	Anhydrite I
Système cristallin	monoclinique	rhomboédrique		hexagonal	orthorhombique	cubique à faces centrées
Teneur en eau (% en masse)	20,92	6,2	6,2	0	0	0
Masse volumique (kg/m ³)	2,31 . 10 ³	2,76 . 10 ³	2,63 . 10 ³	2,58 . 10 ³	2,93 . 10 ³ à 2,97 . 10 ³	2,93 . 10 ³ à 3,0 . 10 ³
Masse molaire (g/mol)	172,2	145,15	145,15	136,1	136,1	136,1
Volume molaire (cm ³ /mol)	74,5	52,4	55,2	52,8	45,8 à 46,4	

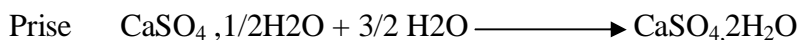
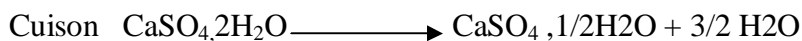
II.4- propriétés physiques du plâtre

4.1- Prise

Les produits résultant de la déshydratation thermique du gypse ont la propriété, lorsqu'ils se trouvent au contact de l'eau, de retrouver leur degré d'hydratation initiale et de reconstituer du gypse. Ce phénomène s'appelle la prise du plâtre. Plusieurs mécanismes ont été envisagés pour décrire ce processus qui se déroule en trois étapes successives :

- reprise de l'eau pour reformer le dihydrate ;
- cristallisation (qui constitue la prise proprement dite) ;
- durcissement.

La prise est la réaction inverse de la cuisson



a) Accélérateurs de prise

Dans le cas notamment de la préfabrication, il peut être nécessaire d'accélérer la prise du plâtre pour procéder à un démoulage plus rapide. On fait donc appel à des accélérateurs qui sont des produits minéraux formant des germes de cristallisation (gypse broyé par exemple) ou diminuant la solubilité du sulfate de calcium dihydraté (sulfates – sauf sulfate de fer–, acides sulfurique, chlorhydrique ou nitrique, chlorures, bromures et iodures alcalins, bichromate de potassium) [3].

b) Retardateurs de prise

Pour de nombreuses utilisations dans le bâtiment, l'art ou l'industrie, il est nécessaire de retarder la prise du plâtre pour permettre un travail plus facile. Plusieurs mécanismes peuvent être mis en jeu :

- diminution de la vitesse de dissolution des phases anhydres ;
- diminution de la solubilité des phases anhydres ;
- adsorption d'ions à la surface des cristaux de gypse en cours de croissance et incorporation de ces ions dans leur réseau ;
- formation de complexes limitant la diffusion vers les cristaux de gypse.

Les principaux retardateurs de prise sont les phosphates alcalins et d'ammonium, les acides organiques et leurs sels solubles (par exemple l'acide citrique et les citrates), les protéines dégradées. En général, l'efficacité des sels d'acides organiques suit la séquence : $H^+ > K^+ > Ca^{2+}$ [3].

c) Épaississeurs et rétenteurs d'eau

Les épaississeurs, en augmentant la consistance de la pâte de plâtre, permettent d'avancer le début d'emploi du plâtre. Un épaississeur bien connu est l'amidon.

Généralement, ces produits ont aussi un effet retardateur de prise limité ; associés à des retardateurs plus puissants, ils permettent d'utiliser la pâte dès la fin du gâchage et d'augmenter la durée d'emploi. Ils facilitent en outre la mise en oeuvre. Épaississeurs et rétenteurs ont permis le développement des plâtres modernes à long temps d'emploi et des plâtres projetés.

Certains épaississeurs sont également rétenteurs d'eau, c'est-à-dire qu'ils retiennent dans la pâte, en empêchant son évaporation ou son absorption par le support, une certaine quantité d'eau qui permet au plâtre de s'hydrater normalement durant la prise.

L'absence de rétenteur d'eau conduirait au grillage du plâtre simplement retardé appliqué sur son support.

Parmi les produits épaississeurs, rétenteurs d'eau, citons les éthers celluloses employés depuis les années 1960 : méthylcellulose (MC), carboxyméthylcellulose (CMC), et les autres dérivés hydroxyéthylcellulose (HEC), hydroxypropylcellulose, etc [3].

4.2- durcissement

Le processus de durcissement comporte trois phases :

- Dissolution des produits du semi-hydrate de Ca ;
- L'hydratation du semi-hydrate aboutissant à la formation du double hydrate de Ca ;
- La cristallisation de l'hydrate.

Tableau I.2 : Propriétés caractéristiques des deux variétés usuelles de semi-hydrate		
Propriétés	Semi-hydrate α	Semi-hydrate β
Masse volumique (kg/m ³)	2,76 . 10 ³	2,63 . 10 ³
Temps de prise (min)	15 à 20	25 à 35
Expansion (mm/m)	2,8	1,6
Résistance à la traction (MPa)	6,5	1,3
Résistance à la compression (MPa)	56	5,6
Solubilité dans l'eau à 20 °C (en g de CaSO ₄ pour 100 cm ³)	0,63	0,74

4.3-Isolation thermique et régulation de l'hygrométrie

Du fait de sa faible conductivité thermique λ , le plâtre peut s'employer seul ou associé à d'autres matériaux pour améliorer l'isolation thermique. Un enduit plâtre appliqué sur une paroi de béton ou de terre cuite forme un revêtement continu qui améliore l'isolation thermique. Les plâtres spéciaux qui incorporent des charges d'agrégats légers qui ont des conductivités thermiques de l'ordre de 0,18 à 0,20 W . m⁻¹ . K⁻¹ sont particulièrement destinés à cet usage. En outre, du fait de sa forte inertie thermique et de sa faible conductivité thermique, le plâtre élimine le phénomène de paroi froide voir le tableau [I.3].

4.4-Isolation acoustique

Le domaine de l'acoustique est un domaine délicat. L'appréciation du rôle que le plâtre peut y jouer l'est donc tout autant. Il est possible, cependant, de dégager quelques données qui éclairent le sujet, étant du reste précisé qu'il ne sera nullement question ici de l'isolation aux bruits de chocs ou d'équipement qui relèvent de techniques particulières ; les considérations

suivantes sont limitées aux bruits aériens. L'acoustique obéit naturellement à des lois théoriques, mais dans les applications qu'on en fait, au plan pratique, elle relève davantage de l'art que de la science par les soins qu'elle exige, par les précautions sans lesquelles en particulier la moindre faille, le moindre pont phonique risquent d'en anéantir les résultats puisqu'un tel pont suffit à permettre la transmission des vibrations des ambiances qu'il met en communication.

4.5-Résistance au feu

L'une des propriétés les plus caractéristiques du plâtre est son comportement remarquable au feu, qui a été reconnu et éprouvé de tout temps. Cette protection a pu autrefois être obtenue grâce à de larges garnissages de plâtre remplissant complètement les intervalles séparant les éléments de construction. Elle peut aussi consister en enduits projetés de plâtres spéciaux (spécial feu) ou en enduits traditionnels comportant, de préférence, une armature légère de solidarisation ancrée sur l'ouvrage voir le tableau [I.3].

Tableau I.3 : Caractéristiques thermiques du plâtre					
Matériau ou application	Masse volumique sèche ρ (kg/m ³)	Conductivité thermique utile λ (W . m ⁻¹ . K ⁻¹)	Capacité thermique massique c_p (J . kg ⁻¹ . K ⁻¹)	Facteur de résistance à la vapeur d'eau μ	
				sec	humide
Plâtre	600	0,18	1 000	10	4
Plâtre	900	0,3	1 000	10	4
Plâtre	1 200	0,43	1 000	10	4
Plâtre	1 500	0,56	1 000	10	4
Plaque de plâtre	900	0,25	1 000	10	4
Enduit isolant au plâtre	600	0,18	1 000	10	6
Enduit plâtre	1000	0,4	1 000	10	6
Enduit plâtre	1300	0,57	1 000	10	6
Plâtre et sable	1600	0,8	1 000	10	6

II. 5- propriétés mécanique et mise en œuvre du plâtre

Le plâtre peut être utilisé dans le génie civil sous forme de pate pure, en mortier ou en béton.

5.1-la pate pure de plâtre

Contrairement au ciment, la pate de plâtre pure est obtenue par saupoudrage de la poudre de plâtre dans l'eau jusqu'à saturation de celle-ci. Le taux de gâchage à saturation est le rapport du poids de l'eau utilisée pour la mise en œuvre du plâtre sur le poids de celui-ci et il déterminé selon la norme (NF B12-401) [4].

5.1.1-les propriétés de la pate pure

Les courbes ci-dessous donnent l'influence du rapport E/P sur la densité et sur la résistance mécanique de la pate pure du plâtre.

a) La densité

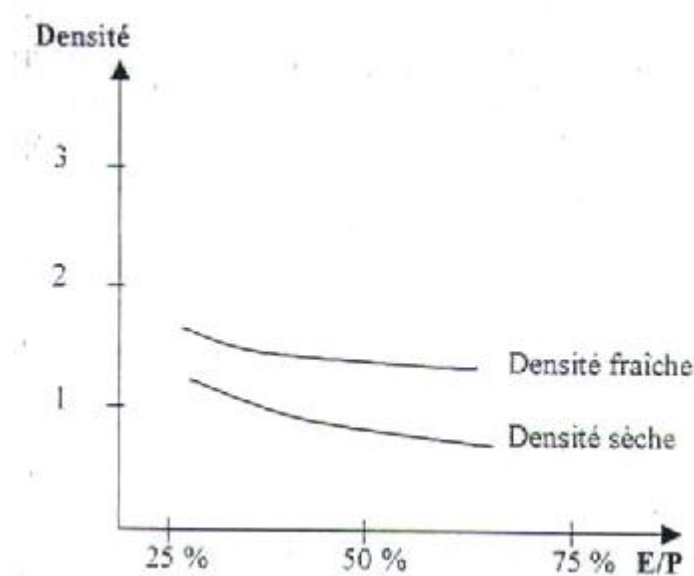


Figure I.1 : Influence du rapport E/P sur la densité.

b) Les résistances mécaniques

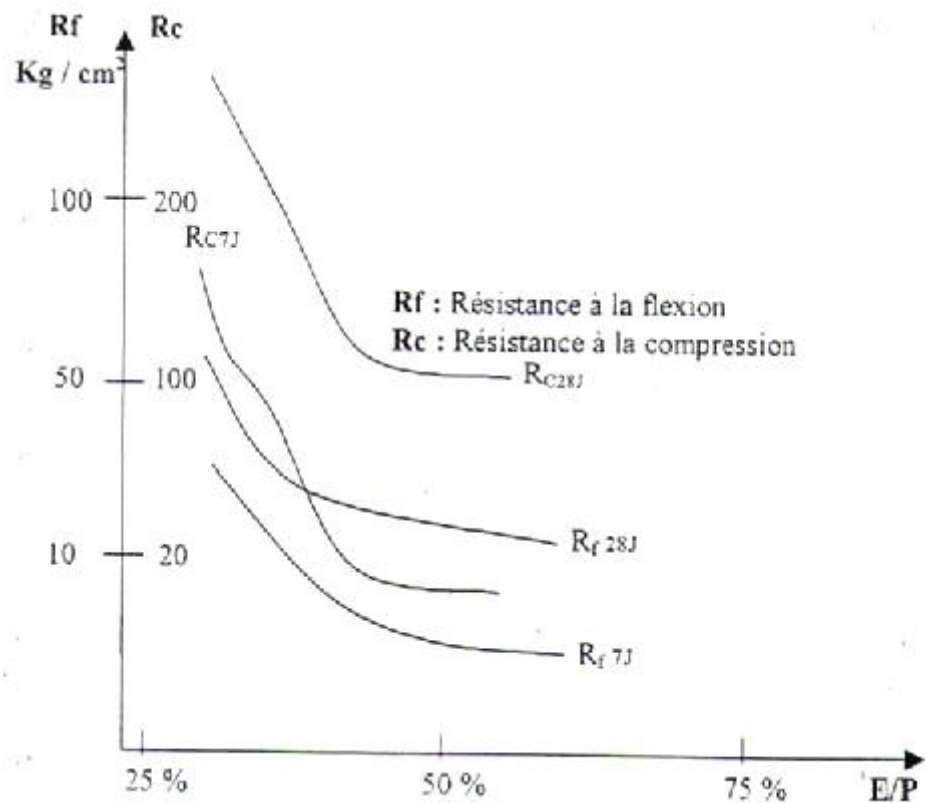


Figure I.2 : Influence du rapport E/P sur les résistances mécaniques.

On remarque que le rapport E/P influe directement sur les propriétés de produit résultant où lorsque le rapport E/P élevé provoque une porosité élevée. Le matériau devient moins dense d'où une chute sur les résistances mécaniques.

Selon [5] pour l'obtention d'une meilleure ouvrabilité et d'une résistance satisfaisante, recommande l'utilisation d'un rapport E/P = 0,6.

5.2-Le mortier de plâtre

Le mortier de plâtre résulte d'un mélange bien homogénéisé de plâtre, de sable et d'eau. Les études **C.N.E.R.I.B** imposent les limites des caractéristiques que doit avoir le sable utilisé aussi bien dans le mortier que dans le béton de plâtre.

Le sable siliceux doit être préféré au sable calcaire en raison de sa moindre capacité d'absorption d'eau. Il doit être à granulométrie régulière contenue, et contenir un faible pourcentage des fines [5].

5.2.1- Influence du rapport S/P sur les résistances mécaniques du mortier

La courbe ci-dessous montre que le rapport S/P influe directement sur la compression du mortier de plâtre.

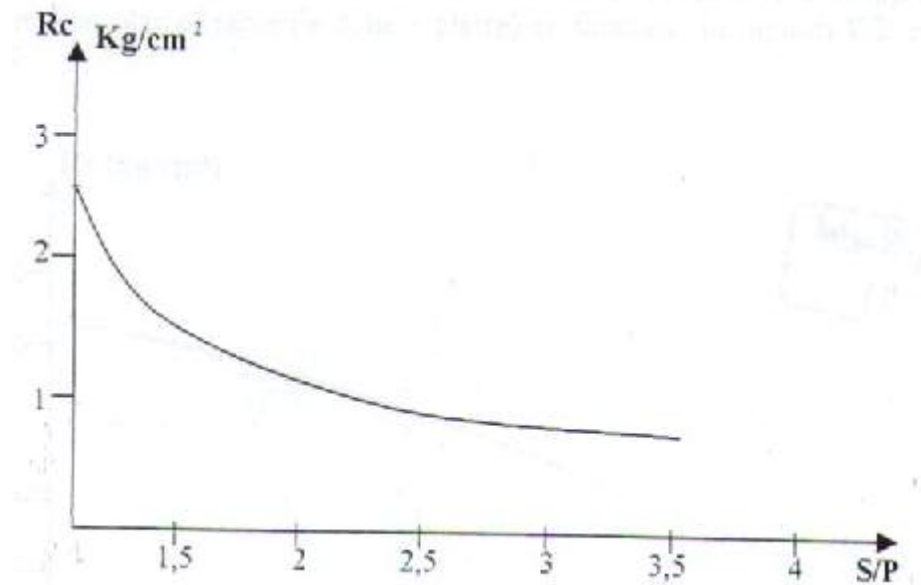


Figure I.3 : Influence du rapport S/P sur la résistance à la compression.

On remarque que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation du rapport S/P.

Le **C.N.E.R.I.B** [5] montre que les résistances mécaniques en compression les plus satisfaisantes ont été obtenues pour les sables intégrés dans le fuseau granulométrique donnée dans la **Figure I.4** et l'utilisation d'un rapport S/P=0,5 en poids équivalent à S/P=0,4 en volume.

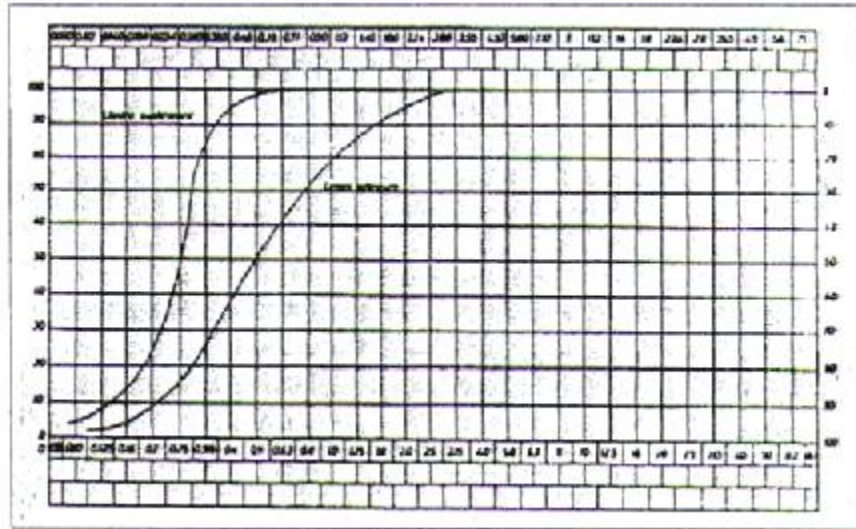


Figure I.4 : Fuseau granulométrique des sables. Analyse granulométrique NF P 18-804.

5.2.2- Influence du rapport E/P sur les résistances mécaniques du mortier

La courbe ci-dessous montre la variation de la résistance à la compression à 28 jours, des mortiers de plâtre en fonction du rapport E/P et avec un rapport S/P=0,5.

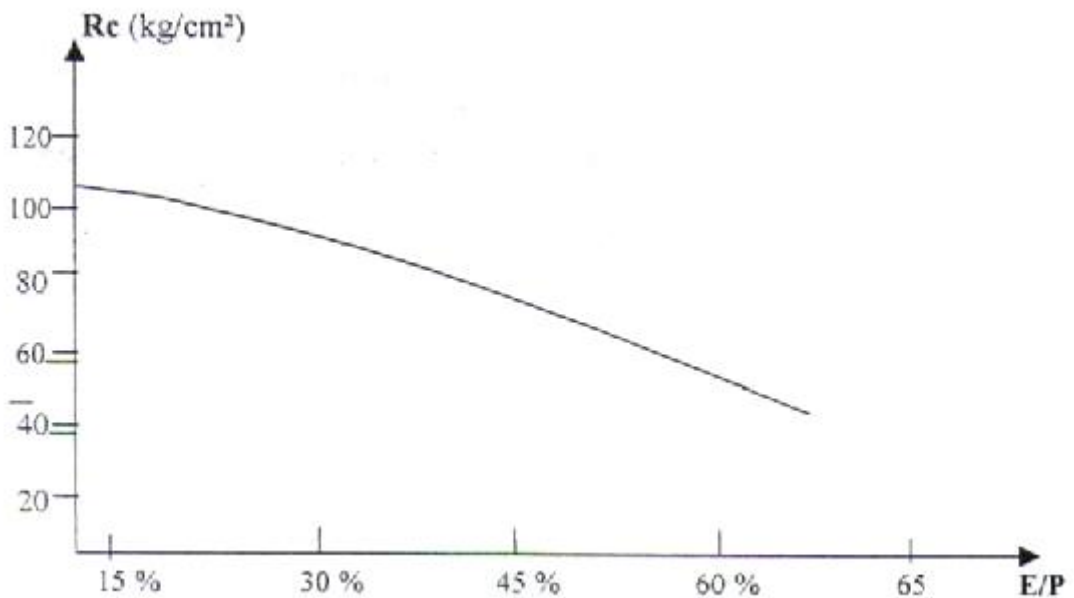


Figure I.5 : Influence du rapport E/P sur la résistance à la compression avec S/P=0,5.

A partir du graphe on peut remarquer que la résistance à la compression du mortier de plâtre décroît avec l'augmentation du rapport E/P.

5.3-le béton de plâtre

Il est possible d'obtenir un matériau d'excellente qualité en incorporant à un mortier de plâtre des agrégats ayant une granulométrie étudiée. La résistance d'un tel conglomerat dépasse habituellement la résistance du mortier de plâtre. Pour obtenir un béton de plâtre, il faut tout d'abord disposer d'un bon mortier de plâtre, c'est-à-dire d'un mortier ayant un facteur E/P réduit. Par ailleurs, la mise en œuvre du béton de plâtre par vibration permet d'améliorer les propriétés du béton en épaississant sa pâte [4].

L'absence d'une méthode universelle dans la formulation des bétons de plâtre, pour cela il faut respecter les recommandations des travaux du **C.N.E.R.I.B** à la formulation de béton de plâtre.

La composition de base du béton de plâtre est comme suit :

- 1 sac de plâtre : 40 Kg ;
- Gravier 5/15 : 60 à 80 Kg ;
- Chaux éteinte : 1 à 1,5 Kg ;
- Eau : 16 à 24 L ;
- S/P : = 0,5.

5.3.1- influence du pourcentage des graviers sur les propriétés mécaniques du béton de plâtre.

Ce parti a pour but d'avoir l'effet de l'incorporation des graviers dans le béton de plâtre sur les propriétés mécaniques par rapport aux mortiers de plâtre.

a) Résistance à la compression

La variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de graviers est montrée sur la figure ci-dessous.

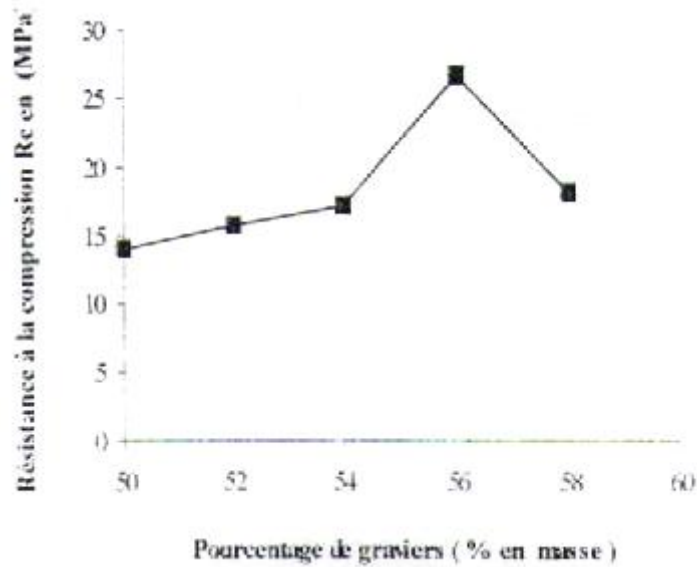


Figure I.6 : variation de la résistance à la compression du béton de plâtre en fonction du pourcentage des graviers.

Le graphe montre que la résistance à la compression croît avec l'augmentation du pourcentage de graviers, ce qui implique que les graviers concassés jouent un rôle très importants dans le développement de la résistance à la compression de béton de plâtre. Une amélioration de résistance à la compression pour un pourcentage de 54% à 56% de graviers, après quoi, une chute considérable de la résistance, ce qui peut être expliqué par une perte de maniabilité, car l'ouvrabilité est une quantité interdépendante de la résistance.

b) Résistance à la flexion

La variation de la résistance à la flexion en fonction du pourcentage de graviers est montrée sur la figure ci-dessous.

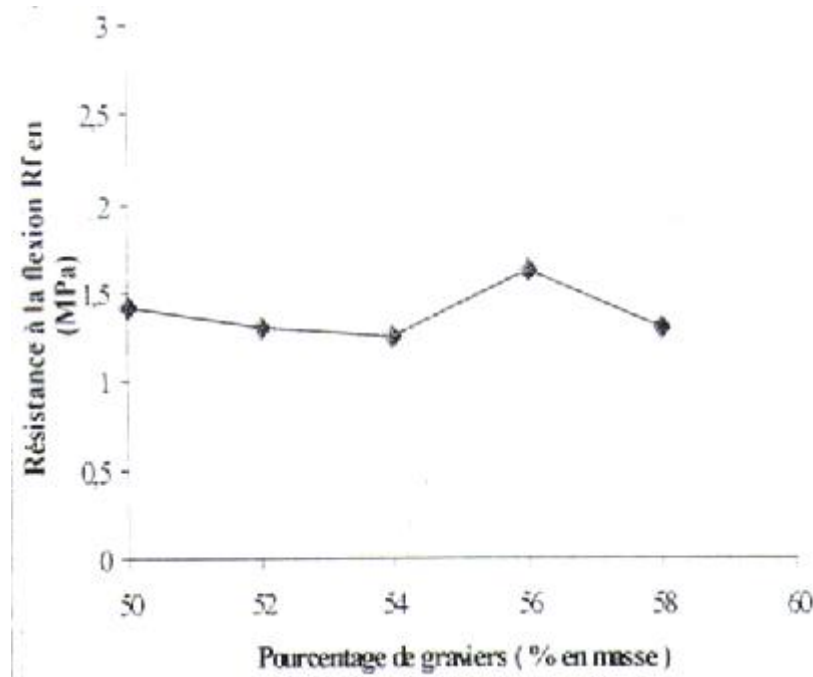


Figure I.7 : variation de la résistance à la flexion du béton de plâtre en fonction du pourcentage des graviers.

La figure I.7 montre, que la résistance à la flexion des bétons de plâtre pour différents pourcentages de graviers varie d'une façon irrégulière avec l'augmentation du pourcentage de graviers, ce qui implique que la résistance à la flexion des bétons de plâtre est liée à la bonne adhérence entre le liant et les agrégats et d'un parfait enrobage.

II. 6- Domaine d'utilisation des éléments à base de plâtre

L'utilisation de plâtre est très facette dans le domaine de génie civil. On peut citer certain application moderne :

Le plâtre peut être utilisé comme éléments de mur ou de plancher :

- Les blocs pleins ou creux pour murs porteurs ou de remplissages.
- Les hourdis ou voutains comme éléments de planchers.

SOLTANE [6] présente le prototype réalisé à Biskra avec les éléments suivants :

- Blocs en béton de plâtre ;
- Plancher premier niveau et terrasse constitués à base de poutrelles semi-préfabriquées en béton armé et une dalle légèrement armé sur les voutains en plâtre.

SONEBI [7] présente le prototype réalisé à Rabat avec les éléments suivants :

- Mur en mortier de plâtre ;
- Des dallâtes en plâtre armé pour plancher des voutes ;
- Mur non porteur en carreaux de plâtre.

ZUBER [8] sur la recherche d'un procédé de construction destiné à la zone tropicale sèche donne les éléments en mortier de plâtre suivants :

- Un bloc creux (20*20*40) cm³ pour mur ;
- Une dallâtes (60*52*8) cm³ pour les planchers ;
- Une pièce en U de (20*20*40) cm³ utilisable soit en coffrage linteaux, soit en marche qui doit être couverte d'un revêtement anti-abrasion ;
- Une poutrelle en plâtre armé de (12*14) cm².

ALDEBERET [9] pour la rénovation des salles d'exposition du grand Louvre, a choisi le plâtre sous multiples formes :

- Cloisons destinées à devenir support de cinoises ;
- Doublages thermiques et acoustiques en plâtre ;
- Plafonds de staff.

III- conclusion

Bien que l'utilisation du plâtre il ya longtemps, mais sa présence dans le domaine de construction ne dépasse pas quelques rôles secondaires. Malgré la taille énorme de la consommation annuelle de gypse. Notez l'absence de recherche sérieuse pour le développement de ce matériau. Lorsqu'à l'issue de cette recherche noter l'absence de méthodes et de normes suivis afin de créer des compositions de ce matériau.

A partir de cette étude bibliographique on peut conclure qu'on peut améliorer les propriétés du plâtre, surtout les propriétés physiques et mécaniques par l'ajout d'additifs :

- Les adjuvants (accélérateurs et retardateurs de prise.....) ;
- Les graviers concassés ;
- Les sables siliceux ;
- Les fibres végétales.

Partie B : Les fibres végétales

I-Introduction

Le Protocole de Kyoto sur les changements climatiques mondiaux a eu pour effet d'accélérer la transition vers une économie durable et plus respectueuse de l'environnement. Cette évolution s'effectue avant tout par un changement dans la destination des plantes cultivées, de la consommation alimentaire à la production d'énergie, et par le remplacement progressif des produits pétrochimiques par des ressources renouvelables, telles que les cultures non vivrières. Étant une importante ressource renouvelable, les fibres ligno-cellulosiques extraites des tissus végétaux sont appelées à jouer un rôle de premier plan dans cette transition.

II- Les fibres végétales

II.1- Définition

Une fibre végétale est une expansion cellulaire morte qui est composée principalement de cellulose, d'hémicelluloses, de lignine et de pectines. Elle est soit isolée soit regroupée avec d'autres en un faisceau [10].

Il est primordial de ne pas confondre fibre unitaire (ou fibre élémentaire) et faisceau de fibres. Une fibre unitaire correspond à une cellule élémentaire fibreuse, qui, regroupée avec d'autres, forme un faisceau de fibres ; le lien interstitiel entre les fibres unitaires étant composé principalement de pectines et d'hémicelluloses (**Photo I.2**). Ce sont généralement ces faisceaux de fibres qui sont communément appelés « fibres végétales » [11].

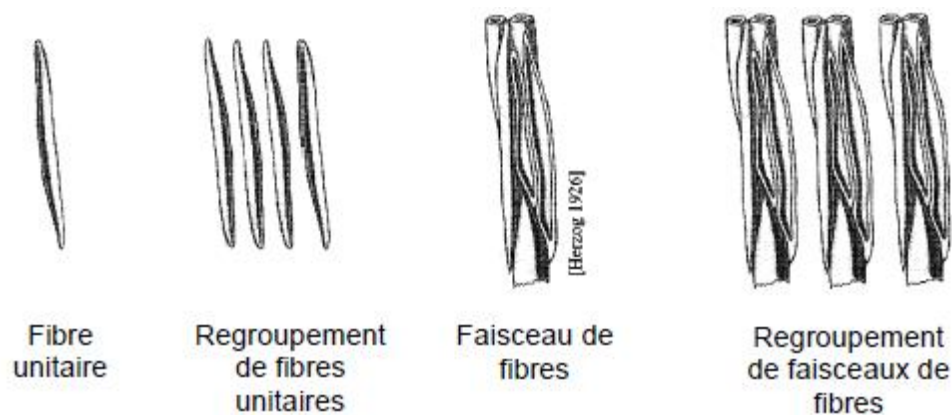


Photo I.2- Les différentes formes de fibres

Une fibre végétale est caractérisée par sa finesse et sa forme allongée par rapport à son diamètre. La plupart des fibres végétales mesurent entre 10 et 150 mm de long pour un diamètre de 10 à 50 μm , soit un rapport longueur sur diamètre compris entre 10 et 100 [12, 13].

II.2- Origines des fibres végétales

Les fibres végétales peuvent être issues de différentes parties de la plante : des graines (poils séminaux), de la tige ou du tronc (fibres libériennes), des fruits (enveloppe) ou des feuilles (**figure I.8**). Le bois est un cas particulier (composition, structure, etc.) qui doit être traité séparément [14, 15].

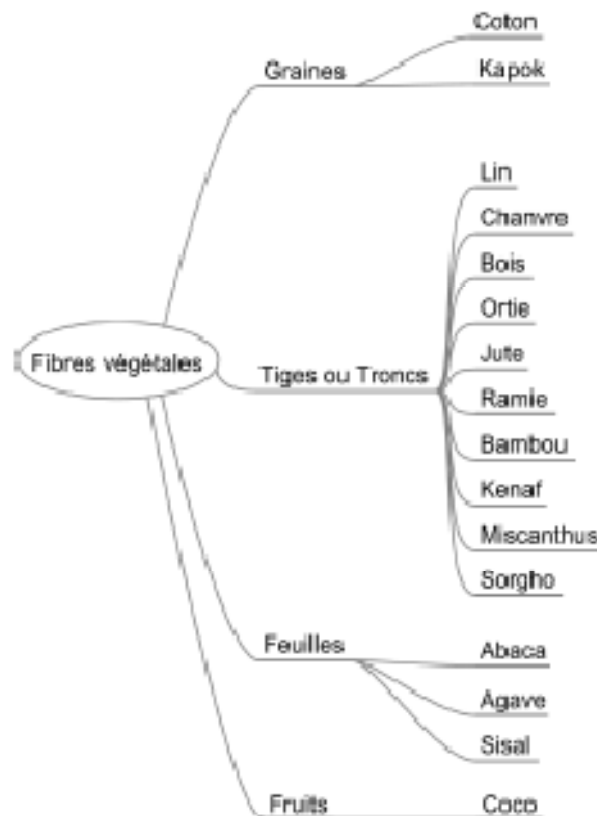


Figure I.8- Classification des fibres végétales en fonction de leurs origines

II.3- Structure d'une fibre

Les fibres végétales ont des structures biologiques principalement composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. Dans une proportion beaucoup plus faible, elles contiennent aussi des extractibles, des protéines et certains composés inorganiques. Contrairement aux autres composantes des fibres qui possèdent une structure amorphe, la cellulose possède une

structure en grande partie cristalline. La cellulose cristalline est l'un des polymères ayant le module d'élasticité le plus élevé, soit environ 136 GPa à comparer au 75 GPa de la fibre de verre. Cette rigidité provient de la structure cristalline qui suit un agencement supramoléculaire hélicoïdal très ordonné. Il est important de noter que cette structure moléculaire particulière entraîne lors d'une elongation des fibres, un couplage torsion/traction qui peut avoir des conséquences sur l'interface, sur la déformation ou sur les mécanismes de rupture du composite. A l'intérieur de la fibre, les chaînes celluloses sont réunies en microfibrilles qui en s'agglomérant forment des fibrilles sur plusieurs couches. L'angle qui existe entre ces éléments très structurés et l'axe de la fibre conditionne la rigidité de la fibre. Les liaisons hydrogènes qui s'établissent le long et entre les chaînes celluloses sont à la base des bonnes propriétés des fibres celluloses. Ce ces différences, constitutives ainsi qu'anatomiques, qui vont donner la grande variabilité des propriétés physico-mécaniques des fibres naturelles [16].

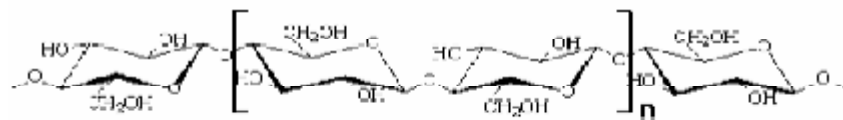


Figure I.9- Molécule de la cellulose (n répétitions du motif cellobiose)

Tableau I.4 : composition et propriétés de différentes fibres végétales					
Nature des fibres	% de cellulose	Angle microfibrillaire (degrés)	Diamètre (μm)	Longueur (mm)	Rapport L /d
Lin	64 - 71	10	5-76	4-77	1687
Ramie	83	7,5	16 - 126	40 - 250	3500
Chanvre	78	6,2	10-51	5-55	960
Jute	61 - 71	8	25-200		110
Sisal	67 - 78	20	7-47	0,8 - 8	100
Noix de coco	43	45	12-24	0,3 - 1	35

II.4- Caractéristiques Chimiques des Fibres Végétales

Les fibres végétales sont caractérisées par leur composition chimique qui influence énormément sur la durabilité et spécialement dans les milieux alcalins. La composition chimique des fibres végétales est formée de trois principaux constituants à savoir : la cellulose, l'hémicellulose et la lignine [17].

a) La Cellulose

C'est la principale composante des fibres végétales. C'est un polymère naturel du premier plan. Généralement, les fibres végétales sont constituées par une chaîne de fibres en cellulose [18].

b) Hémicellulose

L'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres, est un polysaccharide à chaîne courte ramifiée et repliée sur elle même. C'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres et qui permet aux parois de s'allonger pendant la croissance [18].

c) Lignine

La lignine constitue la colle qui lie les fibres végétales entre elles ainsi que leurs parois. C'est un polymère tridimensionnel provenant de la copolymérisation de trois alcools phénylpropénoïques [18].

Le tableau I-5 présente la composition chimique de quelques fibres végétales (noix de coco, sisal, jute et palmier dattier) reproduit selon [18].

Tableau I.5: Composition chimique de quelques fibres végétales				
Fibres	Composition (%)			
	Cendre	Cellulose	Hémicellulose	Lignine
Noix de coco	1.44	32-43	0.15-0.25	40-45
Sisal	1.13	66-72	12.0	10-14
Jute	7.6	63	-	-
Palmier dattier	1.2	41-45	6-10	30-40

II.5- Caractéristiques Physiques et Mécaniques des Fibres Végétales

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

BLEDZKI et GASSAN [17], dans leur étude concernant les fibres végétales, ont constaté que la résistance à la traction et le module d'élasticité des fibres végétales sont proportionnelle à la teneur en cellulose. Ainsi, ils ont remarqué que la résistance dépend de la forme spirales des filaments, ils constatent que les fibres à grand angle spiral ont une grande déformabilité, mais une faible résistance, tandis que les fibres à faible angle spirale ont une faible déformabilité et une grande résistance.

Propriétés	Type de fibres							
	Lin	Chanvre	Jute	Ramie	Coco	Sisal	Abaca	Coton
Densité	1,4	1,48	1,46	1,5	1,25	1,33	1,5	1,51
Résistance à la traction (MPa)	800-1500	550-900	400-800	550	220	600-700	980	400
Module d'élasticité E[GPa]	60-80	70	10-30	44	6	38		12
(E/densité) spécifique	26-46	47	7-21	29	5	29		8
Allongement à la rupture (%)	1,2-1,6	1,6	1,8	2	15-25	2-3		3-10
Absorption d'eau (%)	7	8	12	12-17	10	11		8-25

Nous remarquons sur le **tableau I-6** que la densité de ces différentes fibres est très rapprochée, tandis que leurs résistances à la traction et leurs modules d'élasticité sont très variable. Cela est dû à la variation de leurs compositions chimiques et leurs textures et spécialement l'orientation de leurs filaments et leurs angles spirales.

II.6- Utilisation des Fibres Végétales dans le domaine de génie civil

L'utilisation de matériaux de construction renouvelables n'a fait l'objet que d'une attention limitée dans l'industrie du bâtiment. Les plantes textiles pourraient jouer un plus grand rôle dans certaines applications du bâtiment et de la construction, telles que les panneaux de fibres et les matériaux d'isolation, de renfort ou de rembourrage. Il est connu que les fibres cellulosiques apportent des propriétés utiles au béton ponce, aux briques et aux blocs de construction en terre crue. L'emploi de fibres d'abaca dans la production de matériaux de substitution de l'amianté ciment, s'est révélé tout à fait satisfaisant.

L'application des fibres dans la fabrication de panneaux de construction est avant tout fonction des prix relatifs et elle est possible lorsque les fibres sont produites à un coût inférieur à celui de la fabrication de copeaux de bois. Dans la plupart des cas, la quantité de colle synthétique ou de résine nécessaire pour le compactage des fibres en des panneaux solides est supérieure à celle qui doit être employée pour les fibres ligneuses. Cela fait augmenter les coûts de production des panneaux, mais en améliore également la qualité écologique. Les enduits, les peintures et les adhésifs, qui sont le plus souvent à base de produits pétrochimiques, sont nécessaires pour renforcer la durabilité des éléments de construction renouvelables. Pour améliorer les performances écologiques des matériaux renouvelables, il conviendrait donc d'appliquer des vernis, des peintures et des enduits à base d'huiles végétales. De la même façon, les résines naturelles d'origine végétale, comme la lignine et les furanes, devraient être développées en vue d'une production à l'échelle 10 commerciale, et pouvoir ainsi être utilisées comme agglomérant pour les panneaux et entrer dans la composition des enduits protecteurs [19].

II.7- Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux de construction


Les fibres végétales constituent une alternative intéressante aux fibres de verre en raison de leur recyclabilité. Ces fibres présentent de nombreux avantages comme renfort de matériaux composites. En revanche, certains inconvénients peuvent être un frein au niveau du développement industriel. Les principaux avantages et inconvénients sont rassemblés dans le tableau **I-7** ci-dessous :

Tableau I.7 : avantages et inconvénients des fibres végétales	
Avantages	Inconvénients
Faible coût	Absorption d'eau
Biodégradabilité	Faible stabilité dimensionnelle
Neutre pour l'émission de CO ₂	Mauvaise tenue en vieillissement
Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres	Faible tenue thermique (200 à 230 °C max)
Pas de résidus après incinération	Fibres anisotropes
Ressource renouvelable	Variation de qualité en fonction du lieu de croissance, de la météo...
Demande peu d'énergie pour être produite	Pour des applications industrielles, demande la gestion d'un stock
Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité)	Renfort discontinu
Bonne isolation thermique et acoustique	
Non abrasif pour les outillages	

III- conclusion

L'utilisation de fibres végétales dans le domaine de génie civil est expansé et prendre un champ très large d'application, en particulier dans les pays développés. Compte tenu des caractéristiques physiques et mécaniques, ainsi que grâce à la disponibilité dans la nature et ses propriétés renouvelables.

Mais dans notre pays, nous constatons le manque et l'utilisation limitée de la fibre dans le domaine de génie civil, malgré sa disponibilité et sa diversité, il existe plusieurs types de fibres, y compris: copeaux de bois, Alfa et fibre de palmier. Celui qui doit profiter de cette matériaux locaux, d'une valeur et d'augmenter et valoriser le niveau d'utilisation.



Chapitre II
Les composites renforcés par
fibres végétales

Les composites renforcés par fibres végétales

I-Introduction

Un composite fibré est un matériau constitué d'un ensemble de fibres résistantes noyées dans une matrice dont les propriétés mécaniques sont nettement plus faibles. Les fibres jouent le rôle de renfort tandis que la matrice assure la cohésion du composite et le transfert des efforts aux fibres.

Le renforcement des matériaux de construction par des fibres naturelles fut très tôt utilisé dans l'histoire. Les blocs de terre crue renforcée par la paille ou l'incorporation de crin de cheval aux mortiers d'enduit sont des exemples remontant à plusieurs milliers d'années [20]. Pourtant, le passage de ces utilisations traditionnelles à un développement technologique de composites renforcés par des fibres végétales pour des utilisations en bâtiment est relativement récent. Il remonte au début des années 1970, lorsque sont réalisés les premiers travaux visant à remplacer les fibres d'amiante dans les éléments préfabriqués profilés en fibrociment (bardage, tuiles, plaques etc.) [21]. Dès lors, de très nombreuses études ont été menées sur tous les continents pour utiliser des fibres de renforcement d'origine végétale dans les matériaux de construction, en particulier dans les pays en voie de développement, en raison de leur disponibilité, de leur faible coût économique et énergétique ainsi que relativement une faible technicité nécessaire à leur production.

II- Les propriétés des composites renforcés par des fibres végétales

II.1- Propriétés à l'état frais

L'ajout de fibres végétales à une matrice minérale conduit à une diminution de sa maniabilité, compensable par un ajustement du rapport E/L ou l'usage de super plastifiant ([22], [23]). Cette perte d'ouvrabilité est d'autant plus importante que la relation d'aspect (rapport de la longueur sur le diamètre des fibres) et le dosage en fibres sont importants [24].

La présence de fibres au moment du malaxage induit également une augmentation de la quantité d'air entraîné [21].

Enfin, plusieurs auteurs relèvent un retard de prise lié à l'incorporation de fibres végétales. Des mécanismes complexes semblent expliquer ce phénomène.

Le retard de prise observé serait lié à la présence de sucres libres issus des fibres végétales. **Fisher** l'attribue plus précisément à la dégradation de carbohydrates solubles en

acides sacchariniques, agents retardateurs de prise [30] cité par **D.Sedan [25]**, explication reprise pour lequel la prise du ciment serait inhibée par des oligosaccharides produits par la dégradation de l'hémicellulose en milieu alcalin.

L'influence de molécules organiques sur la prise du plâtre n'a été étudiée que dans le but de maîtriser les temps de prise et de les adapter aux méthodes de mise en œuvre. On mentionne souvent que le pH influe sensiblement sur les temps de prise ; **Pascal [31]** modère cette affirmation en montrant que cela dépend également de la substance introduite. Le pH n'a pas d'influence dans le cas du sucre ; à l'inverse, l'effet de l'acide tartrique augmente avec le pH. Certains produits, comme l'acide citrique, présente une plage optimale d'influence. En parallèle, **Pascal** observe des cristallites de gypse déformés, plus massifs, ce qui s'accompagne une chute des résistances mécaniques.

Wilding et al [32] ont entrepris la classification d'adjuvants organiques et inorganiques selon leur influence, accélératrice ou retardatrice, sur la prise du ciment, en suivant son hydratation par calorimétrie isotherme. Leurs conclusions semblent indiquer que toutes les molécules organiques semblent induire des retards, mais que parmi elles, les adjuvants phénoliques avec des groupes hydroxyl adjacents sont les plus puissants retardateurs. Ce fait est expliqué par la faculté de telles molécules de former des complexes avec des ions calcium. L'acide citrique, le catéchol et l'acide salicylique sont notamment cités.

Outre, on peut trouver dans la littérature des travaux faisant état d'une limitation du retrait plastique par l'incorporation de fibres végétales.

Le retrait plastique correspond à la variation dimensionnelle qui intervient dans tous les matériaux à base de ciment à l'état frais, pendant les premières heures qui suivent la mise en place. Dans le cas où le retrait est empêché, le phénomène conduit au développement de contraintes dans le ciment et à la création de fissures. Cette fissuration précoce peut conduire à terme à la dégradation des ouvrages notamment lorsqu'ils sont exposés à des cycles d'humidification/séchage ou de gel/dégel.

Afin d'identifier l'influence des fibres végétales sur ce phénomène, **Toledo Filho et al [34]** ont réalisé des mesures de retrait libre et empêché. Ils concluent que l'incorporation de

fibres de sisal limite le retrait plastique libre et ce d'autant plus que le dosage en fibres est important. L'addition de 0.2% de fibres en volume réduit le retrait libre de 23 à 34%.

Concernant le retrait empêché, l'incorporation de fibres de sisal et de coco permet de retarder l'apparition de la première fissure, le délai passant de 90 minutes pour la matrice pure à 180 minutes pour la matrice renforcée. Elle permet également de contrôler l'ouverture de la fissure par la suite. Ce phénomène est attribué par l'auteur au module d'élasticité plus élevé des fibres ainsi qu'à l'effet de couture des fissures par les fibres qui empêchent leurs ouvertures au jeune âge.

II.2- Propriétés à l'état durci

Comme dans les bétons renforcés conventionnels, les fibres agissent en limitant la propagation et l'ouverture des fissures qui conduisent finalement à la rupture. Les principales propriétés obtenues par incorporation de fibres végétales sont donc l'augmentation des résistances en traction, en flexion et au choc, la limitation de la fissuration au jeune âge par diminution du retrait plastique et l'amélioration de la ductilité.

2.1- propriétés physiques

a) Densité

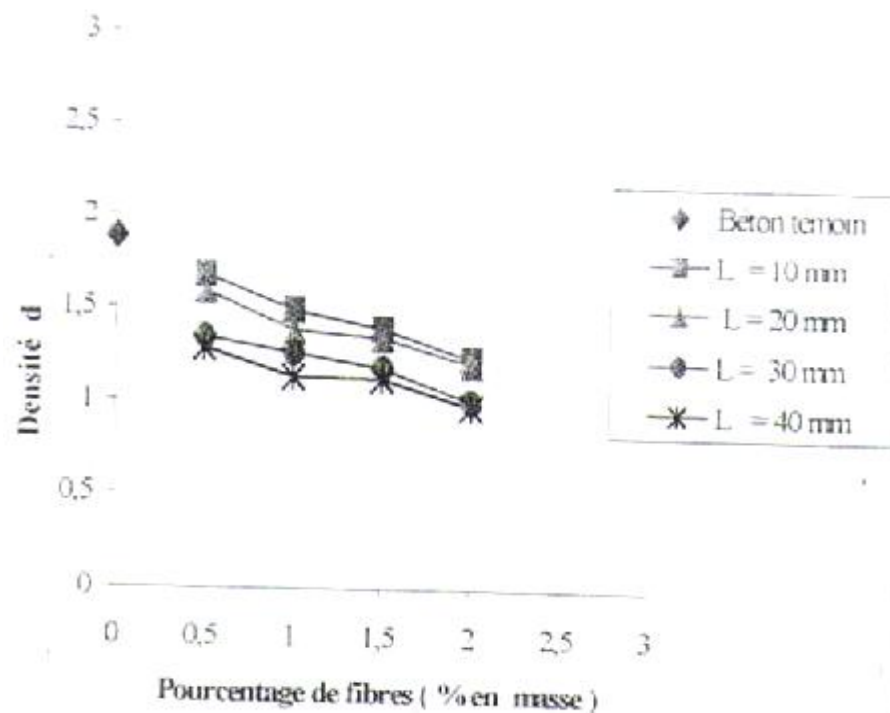


Figure II.1 : Variation de densité de béton de plâtre en fonction de pourcentage et longueur des fibres de palmier dattier.

Selon la figure II.1 d'après Djoudi [4] remarque que la densité décroît avec l'augmentation du dosage et longueur des fibres, ce qui peut être expliqué par l'augmentation du volume de vide créé par l'incorporation des fibres d'où l'obtention d'une composite moins dense.

b) Absorption d'eau

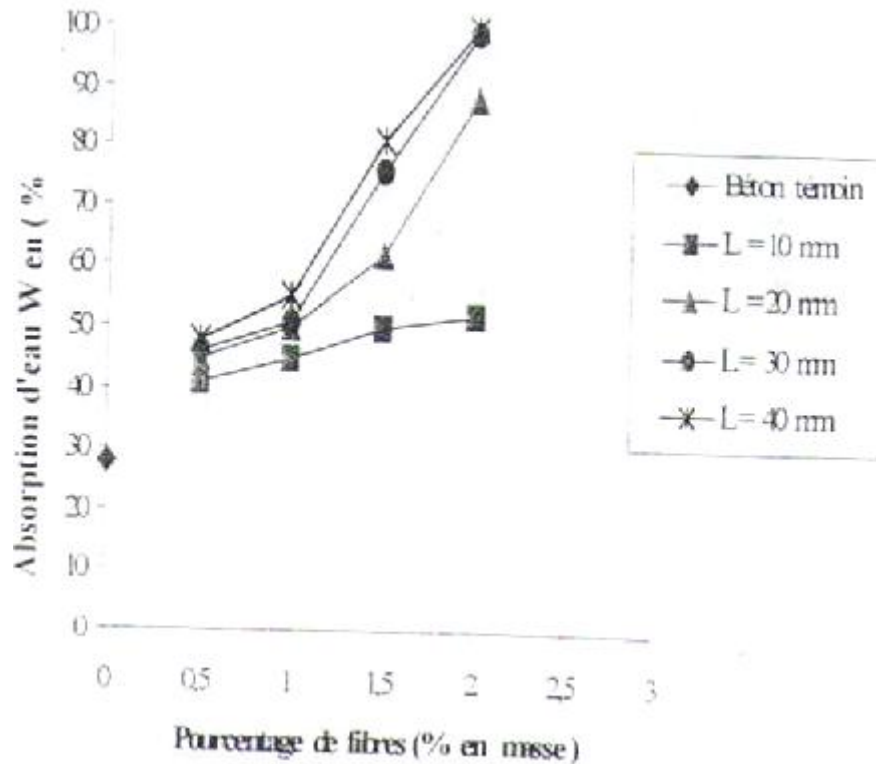


Figure II.2 : Variation d'absorption d'eau de béton de plâtre en fonction de pourcentage et longueur des fibres de palmier dattier.

A partir la figure II.2, DJOUDI [4] montre que l'absorption d'eau croît avec l'augmentation du dosage en fibre et cela peut être due aux fibres qui sont hydrophile et qui ont une capacité d'absorption importante d'où une absorption d'eau maximale.

c) Module de Young

D'après la (**figure II.3**) ci dessous, on remarque que le module de Young reste sensiblement constant et il ne dépend pas de la longueur des fibres renforcés utilisés. Par contre il croit avec l'augmentation du dosage des fibres. Ce point a été déjà mentionné dans la littérature, le module de Young dépend seulement des modules de Young des constituants, de leurs volumes et leurs distributions dans la matrice [4].

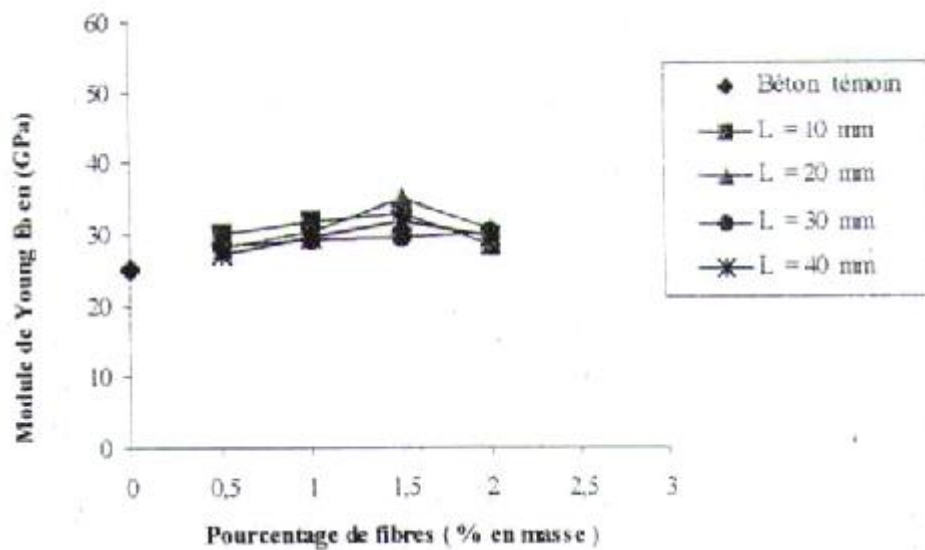


Figure II.3 : Variation de module de Young de béton de plâtre en fonction de pourcentage et longueur des fibres de palmier dattier.

2.2- propriétés mécaniques

Les études réalisées sur les matériaux composites à base de fibres végétales brutes mettent en évidence une modification du comportement mécanique du composite. Alors que la matrice cimentaire pure présente un comportement élastique linéaire fragile, les éprouvettes de composite fibré testées en flexion trois points conservent leur intégrité même au delà de la charge maximale, et continuent à supporter une charge significative dans la partie post-pic [21].

Ce phénomène est mis en évidence par la **Figure II.4** représentant le comportement d'une matrice cimentaire pure et de la même matrice renforcée par 16% en volume de fibres de chanvre.

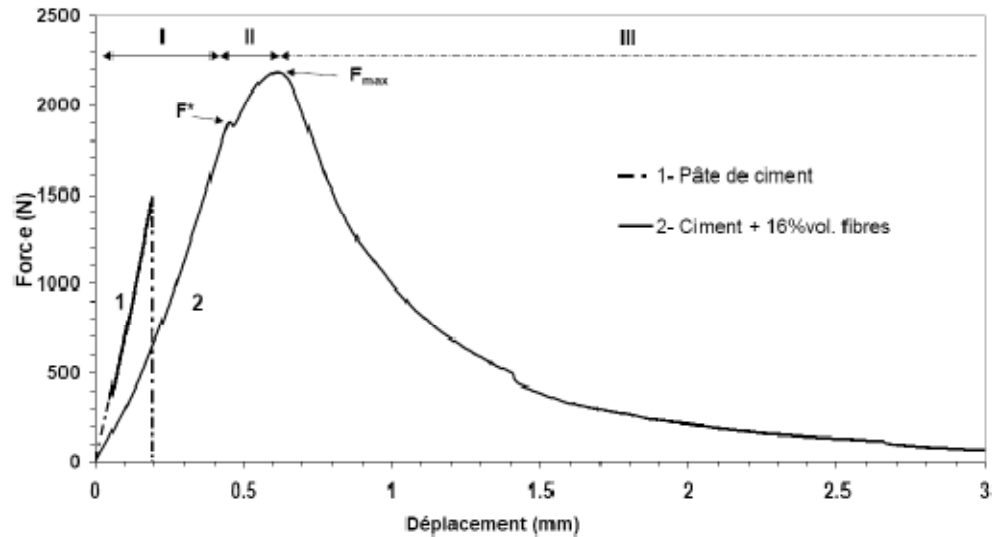


Figure II.4 : Courbes du comportement typique d'un échantillon de ciment pur (1) et d'un composite ciment/fibres de chanvre (2) en flexion 3 points.

Selon **D. Sedan [25]** distingue trois phases dans le comportement du composite fibré :

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

L'incorporation de fibres végétales modifie peu la charge d'apparition de la première fissure, qui est liée principalement aux propriétés de la matrice, mais une fois la fissure apparue, les fibres limitent la propagation de la fissure [21].

Le passage d'une matrice fragile à un composite fibré ductile présentant un comportement post-pic adoucissant est relevé par tous les auteurs. Cependant, cette modification du comportement ne va pas forcément de pair avec une amélioration de la résistance à la flexion [22], c'est pourquoi le paramètre prépondérant pour rendre compte de la contribution des fibres dans le comportement du composite est sa ténacité qui représente l'aptitude du matériau à absorber une certaine quantité d'énergie avant la rupture [26].

Les performances du composite dépendent notamment du dosage et de la longueur des fibres. [27] a étudié le renforcement de mortiers de ciment par des fibres de jute **Figure II.5**.

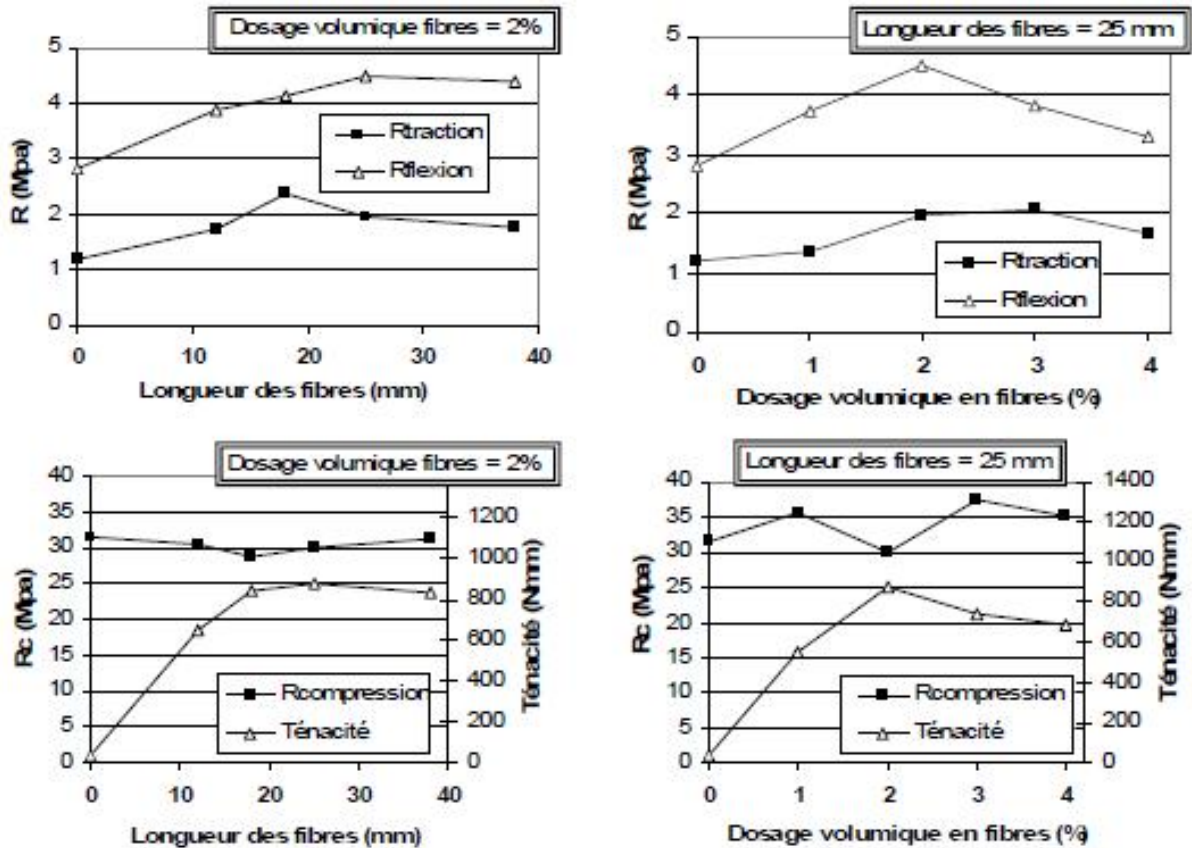


Figure II.5 : Influence du dosage et de la longueur des fibres de jute sur les propriétés du composite.

Les résultats de la **Figure II.5** montrent que l'incorporation de fibres végétales permet d'améliorer les résistances à la traction et à la flexion ainsi que la ténacité du composite sans modifier fortement la résistance en compression.

Concernant la résistance en compression, ces résultats diffèrent de ceux de **Kriker et al.** [22] dont l'étude met en évidence une diminution de la résistance en compression avec l'augmentation du dosage en fibres et de longueur des fibres. 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 alors 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.

On peut noter aussi sur cette même figure que les performances en flexion et en traction du composite sont dépendantes de la longueur et du dosage en fibres de jute. Dans un premier temps, plus la longueur des fibres est importante, plus les résistances en traction et en flexion ainsi que la ténacité du composite sont améliorées. Cependant, au delà d'une longueur critique (environ 25 mm) les propriétés n'augmentent plus. De la même manière, à longueur de fibres constante, l'augmentation du dosage en fibres de jute permettra l'amélioration des propriétés jusqu'à un certain seuil, ici environ 2 % en volume. Cette limitation est attribuée par l'auteur au phénomène de « boulochage », c'est-à-dire qu'au delà d'une certaine longueur ou d'un certain dosage, les fibres ont tendance à s'entremêler en rendant plus difficile leur dispersion dans la matrice, elles restent regroupées en amas et la liaison à l'interface fibre/matrice est diminuée.

Le dosage optimal et la longueur optimale des fibres dépendent du type de fibres et de la méthode de mise en œuvre. **Das Gupta N.C [28]** étudie le renforcement d'une pâte de ciment par des fibres de coir de coco et relève une amélioration optimale des propriétés pour un dosage volumique de 4% et une longueur de fibres de 38 mm de longueur. **D. Sedan [25]** quant à lui, obtient une amélioration optimale pour un dosage de 16% en volume de fibres de chanvre de longueur comprise entre 10 et 20 mm (voir **Figure II -6**).

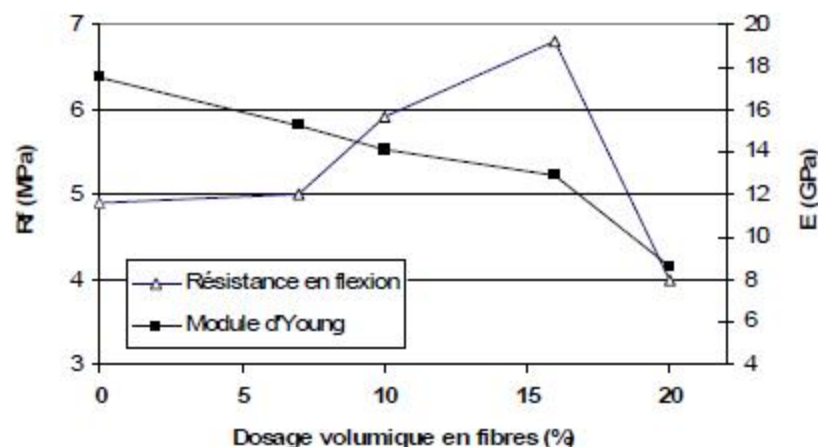


Figure II.6 : Evolution de la résistance en flexion et du module d'élasticité d'une pâte de ciment renforcée par des fibres de chanvre en fonction de la teneur en fibres.

Parallèlement à la résistance en flexion, Sedan a mesuré le module d'Young des différents mélanges par échographie ultrasonore en milieu infini. Il note que l'amélioration de la résistance en flexion du composite s'accompagne d'une diminution de la rigidité du composite qu'il attribue à une augmentation de la porosité.

Outre les matrices cimentaires, certains auteurs ont travaillé sur le comportement mécanique des composites de plâtre fibrés.

F. Hernandez-Olivares [29] dont les travaux portent sur le renforcement d'une matrice de plâtre par des fibres de sisal. Comme pour les matrices cimentaires, la modification du comportement mécanique en flexion est nettement mise en évidence. La matrice de plâtre seule a un comportement élastique linéaire fragile. La chute de résistance est brutale et la rupture intervient immédiatement après l'atteinte de la contrainte maximale. Au contraire, sur la courbe contrainte/déplacement du composite (**Figure II.7**) apparaît une discontinuité, qui correspond à la rupture de la matrice puis une remontée de la contrainte correspondant à la reprise des efforts par les fibres qui jouent le rôle d'armatures reliant les deux surfaces de part et d'autre de la fracture.

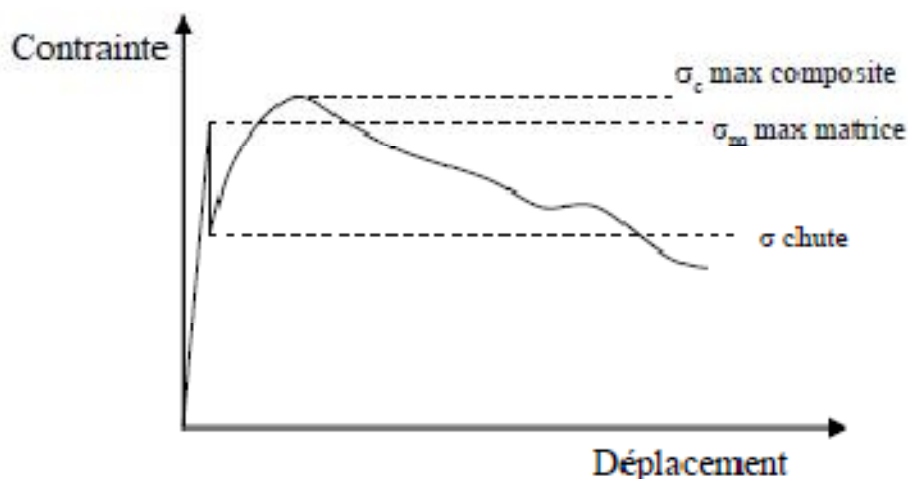


Figure II.7 : Courbe contrainte/déplacement type d'une matrice de plâtre renforcée par des fibres de sisal.

F. Hernandez-Olivares [29] a défini trois contraintes caractéristiques de ce comportement, σ_m : la contrainte maximale de la matrice, σ_c : la contrainte maximale du composite (qui peut être supérieure à σ_m) et σ_{chute} : la résistance résiduelle juste après rupture de la matrice.

F. Hernandez-Olivares [29] a réalisé différents mélanges en faisant varier d'une part la teneur en fibres (de 1 à 3% en masse) et la longueur des fibres (de 10 à 40 mm). Il a identifié l'influence de ces paramètres sur les contraintes caractéristiques définies ci-avant (Figure II.8).

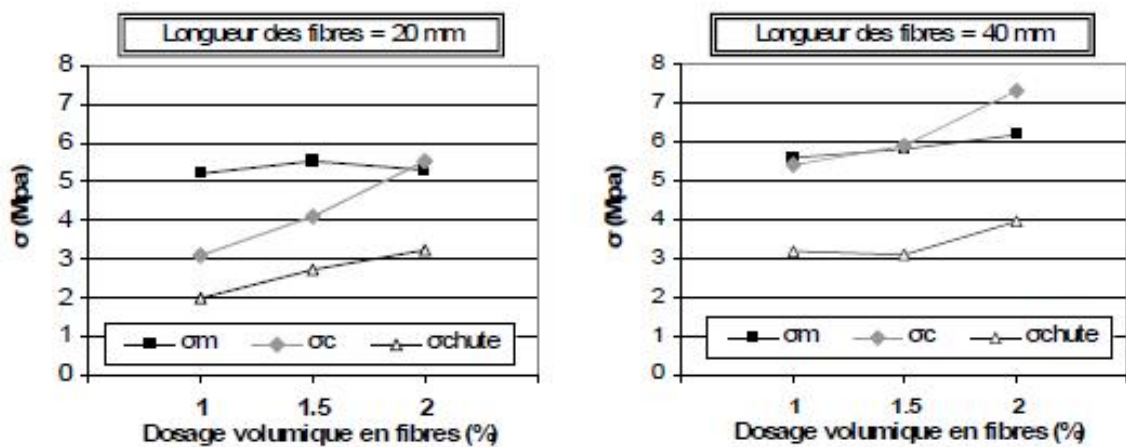


Figure II.8 : Influence du dosage et de la longueur des fibres de sisal sur les propriétés mécaniques à la flexion des composites à matrice de plâtre.

Les résultats obtenus montrent que :

- la résistance maximale de la matrice σ_m reste quasiment constante quels que soient la longueur et le dosage des fibres ;
- la résistance maximale du composite σ_c augmente avec la longueur et le dosage en fibres. Pour la longueur et le dosage en fibres maximaux (40 mm et 2%), la résistance en flexion du composite dépasse de 18% environ celle de la matrice seule ;
- la résistance σ_{chute} augmente également avec le dosage en fibres et la longueur de ces dernières.

Cette dernière observation avait également été faite par [23] sur des mortiers de ciment renforcés par des fibres d'agave lechuguilla et maguey. Pour des composites renforcés par 5% en volume de fibres, un comportement semblable à celui présenté Figure II.8 était

observé. En revanche, pour des dosages supérieurs (de 7 à 11%), σ_{chute} augmentait et devenait même supérieure à σ_m .

En ce qui concerne l'amélioration de la résistance en flexion du composite, on constate dans les travaux d'**Hernandez-Olivares [29]** qu'elle n'est pas systématique puisque finalement, seule la résistance du mélange avec des fibres de 40 mm dosées à 2% surpasse celle de la matrice pure. Encore une fois le paramètre qui rend compte le plus précisément de la modification du comportement en traction par l'incorporation de fibres s'avère être la ténacité. Dans ses travaux, elle augmente avec la longueur des fibres, elle est ainsi trois fois plus élevée pour les composites renforcés avec les fibres de 40 mm que pour ceux renforcés avec celles de 20 mm, et ce quel que soit le dosage. A longueur constante, la ténacité augmente avec le dosage en fibres.

L'incorporation de fibres végétales dans une matrice fragile permet également d'améliorer sa résistance à l'impact. L'étude de la résistance au choc de mortiers de ciment renforcés par des fibres végétales de coir, sisal, jute et hibiscus menée par **G. Ramakrishna [33]** conclut à des performances 3 à 18 fois plus élevées pour les matériaux renforcés que pour la matrice pure.

III- Effet du blanchissement des fibres sur les propriétés mécaniques des composites

Comme la surface des fibres n'est pas propre, le blanchissement de fibres a été fait par un traitement dans l'eau, en ajoutant de l'eau de Javel (hypochlorure de sodium, bichromate de sodium, eau) avec une faible concentration [4].

On peut résumer l'effet de blanchissement d'après des travaux de **DJOUDI [4]** dans le **tableau II.1** :

Tableau II.1: Propriétés mécaniques de plâtre avec différentes natures de fibres			
Nature de fibre	Résistance à la compression R_c en (Mpa)	Résistance à la flexion R_f en (Mpa)	Module de Young E_b en (Gpa)
Fibres blanchies	28,30	43,88	29,80
Fibres non blanchies	26,38	38,81	29,30

D'après **tableau II.1** ; **DJOUDI [4]** constate que le blanchissement de fibre améliore la résistance à la flexion, la résistance à la compression et légèrement le module Young. Cette amélioration est due au prétraitement des fibres qui nettoie la surface de fibres et élimine les éléments nuisibles (couche de lignine d'où une bonne adhérence. Ces éléments empoisonnent la matrice dans le cas des fibres non blanchies d'où une faible résistance à la flexion enregistrée.

IV- Durabilité des composites renforcé par fibres végétales

Malgré les résultats encourageants obtenus vis-à-vis des propriétés et notamment des propriétés mécaniques des matériaux de construction renforcés par des fibres végétales, les études réalisées mettent en évidence des déficiences concernant la durabilité des fibres dans la matrice alcaline.

Les performances à long terme seront donc le plus souvent exprimées en termes de propriétés du composite lui-même.

Parmi les nombreux paramètres susceptibles d'intervenir sur la durabilité des composites renforcé par fibres végétales, on peut tenir :

- La nature des fibres ;
- Les natures de liant ;
- Les conditions de conservation (température, humidité.....).

Etant donné la variabilité des notations et des appellations utilisées par les différents auteurs, nous allons en préambule à cette partie définir les termes que nous retiendrons pour définir le comportement à la flexion du composite fibré **[35] (Figure II.9)** :

- la résistance à la première fissure (R1ère fissure) correspond à la contrainte de première fissuration de la matrice,
- la résistance de chute (Rchute) correspond à la contrainte résiduelle après la rupture de la matrice,
- la résistance post pic (Rpost-pic) correspond à la contrainte maximale de la phase post-pic.

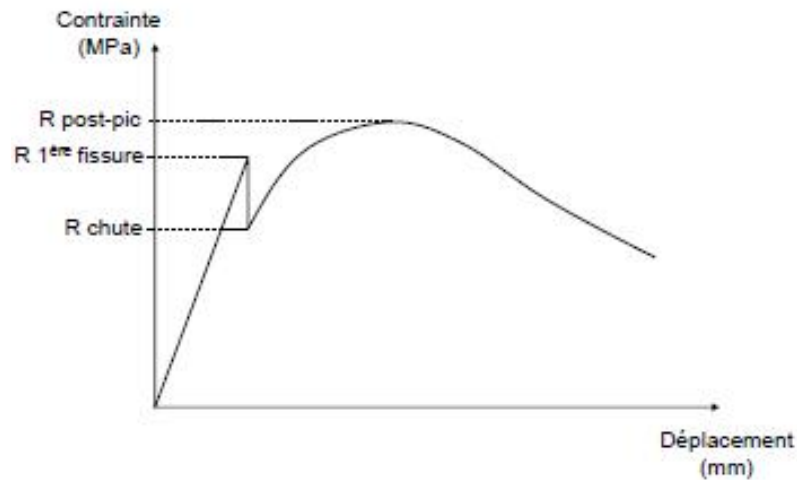


Figure II.9 : Définition des grandeurs caractéristiques du comportement en flexion d'un composite fibré.

L'ensemble des travaux réalisés font état d'une chute de la ductilité des matériaux renforcé par des fibres végétales au cours du temps.

Les résultats obtenus par **Sedan [25]** présentés sur la **Figure II.10** illustrent ce phénomène. A l'issue de 12 mois de vieillissement naturel, le comportement mécanique des composites est notablement modifié. La force à la première fissure est relativement constante par rapport aux essais réalisés à 28 jours, en revanche la phase post pic disparaît après vieillissement, le matériau présente une rupture fragile semblable à celle de la matrice non fibrée.

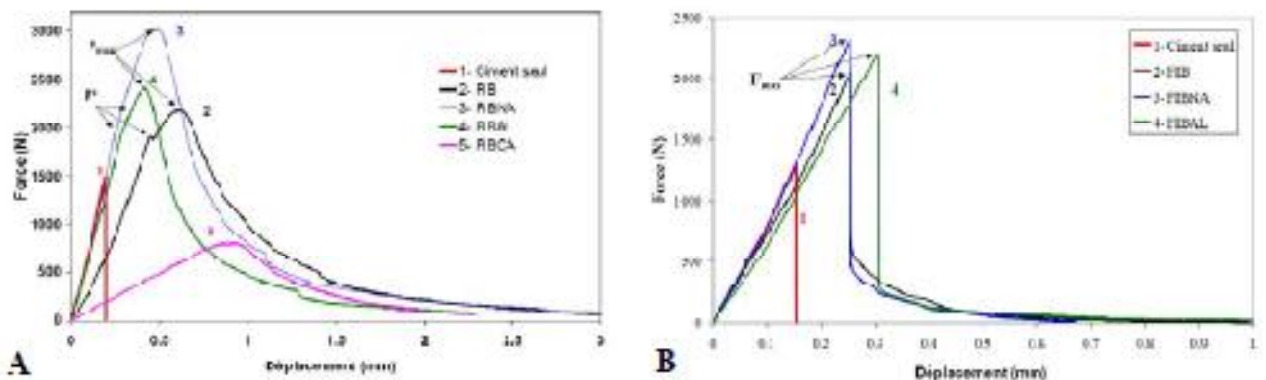


Figure II.10 : Comportement mécanique en flexion 3 points d'une matrice cimentaire renforcée par des fibres de chanvre brutes (FIB) et des fibres de chanvre traitées avec une solution de soude (FIBNA), de chlorure d'aluminium (FIBAL) et de chaux (FIBCA) à 28 jours (A) et après 12 mois de vieillissement

Des résultats comparables sont obtenus par **Mohr *et al.* [36]** sur des composites de ciment renforcés par de la pâte kraft de conifères. Les éprouvettes soumises à des cycles de saturation en eau/séchage présentent une perte de la résistance maximale de 50.8 à 72.4% et une chute de la ténacité de 97.5 à 98.8%. La **Figure II.11** présente l'évolution typique du comportement en flexion d'échantillons soumis à 0, 5, 10 et 25 cycles de vieillissement.

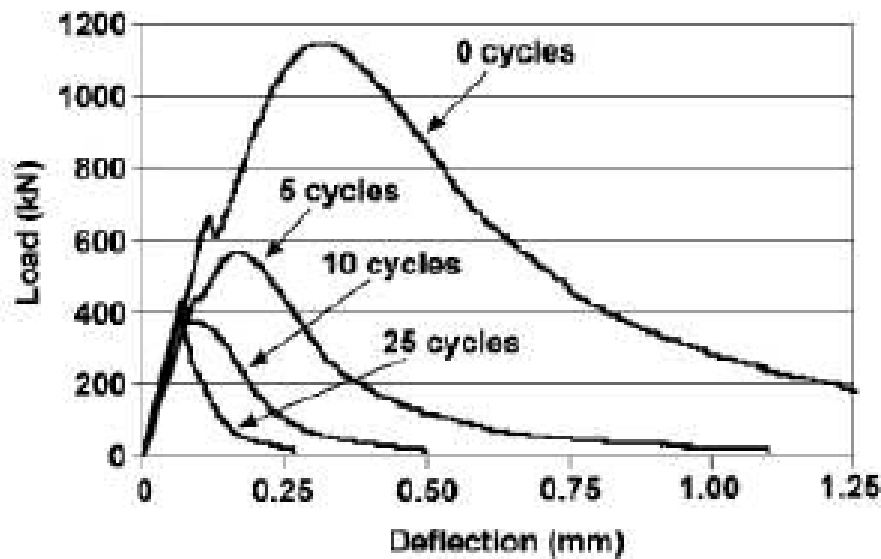


Figure II.11 : Effet des cycles de vieillissement sur le comportement mécanique en flexion 3 points de ciment renforcé par des fibres de conifères naturel.

KHENFER [36] a étudié les propriétés de résistance et de rupture à différents milieux hygroscopiques sur des plâtres renforcés par fibres cellulosiques, il constate que les valeurs du module d'Young E_b et la résistance à la flexion σ_b sont nettement inférieures pour éprouvettes conditionnées à l'état humide. Par contre l'humidification rend le matériau de plus en plus ductile, les valeurs de l'énergie de rupture sont améliorées de 40% presque par rapport à l'état sec.

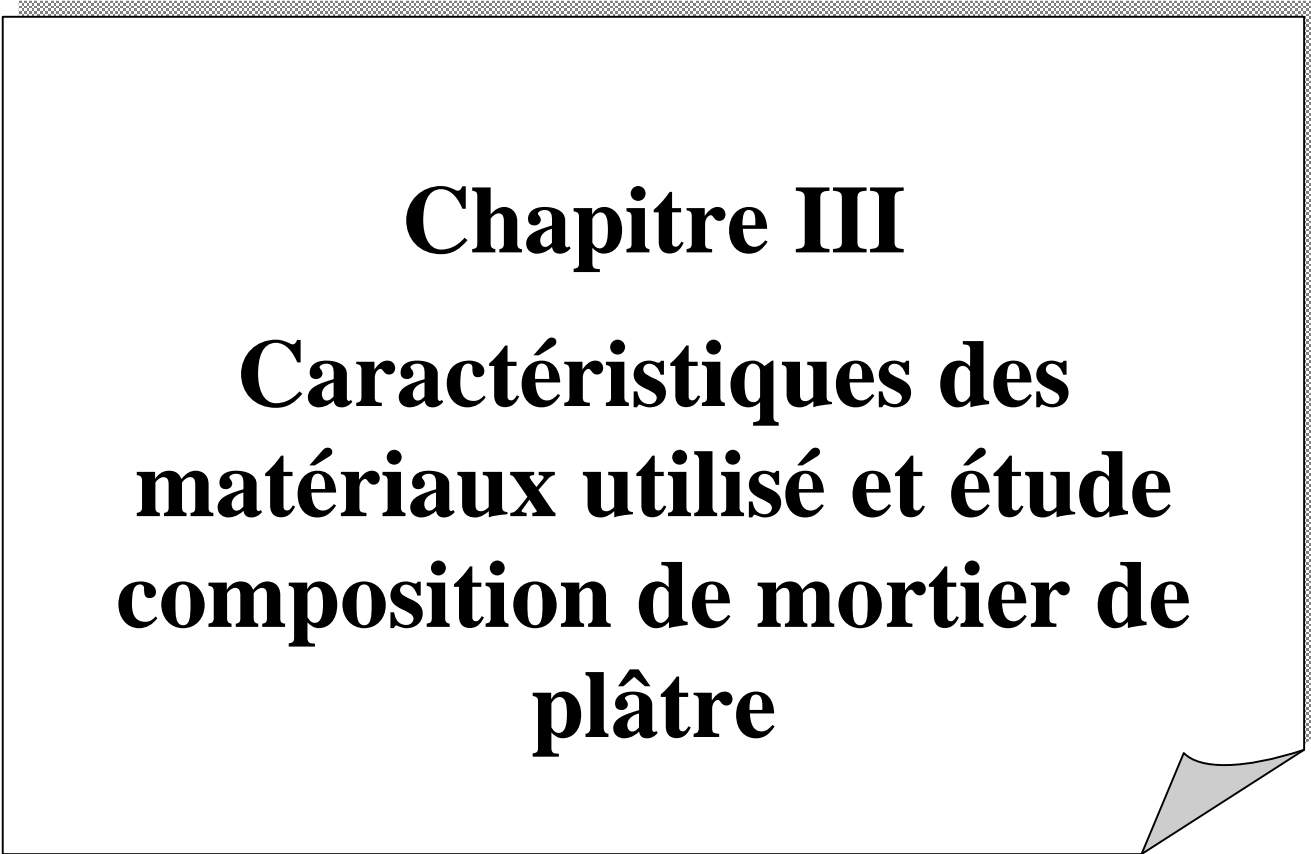
V- Conclusion

Dans le secteur du domaine de génie civil, le recours à un renfort fibré dans une matrice minérale est souvent exploité pour améliorer les caractéristiques mécaniques et physiques des éléments mis en œuvre. Cet ajout peut être influé sur :

- La distribution uniforme et l'orientation adéquate des fibres dans la matrice de composite, donne des résultats mieux que lui sans fibre ;
- L'introduction des fibres dans les composites, il a été mis en évidence une léger augmentation de la résistance à la compression et une augmentation remarquable de la résistance à la flexion ;
- Il ya certains précautions à prendre quant à la mise en œuvre de ce matériau, puisque les fibres modifient la maniabilité ;
- L'ajout des fibres dans les matrices, peut retarder les microfissures ;
- une chute de résistance et de ductilité des fibres végétales en milieu alcalin se fait par décomposition partielle de ses constituants et en particulier de la lignine et de l'hémicellulose constituants de la lamelle mitoyenne. Cette phénomène n'apparat pas dans le cas d'une matrice de plâtre.

Chapitre III

**Caractéristiques des
matériaux utilisé et étude
composition de mortier de
plâtre**



Caractéristiques des matériaux utilisés et étude composition de mortier de plâtre

I-Introduction

Le mortier de plâtre à base de sable des dunes est un mélange composé de sable, de liant (plâtre, chaux hydraulique) et d'eau de gâchage. La qualité de cet mortier est, sans doute, liée aux caractéristiques de ses constituants.

Dans ce chapitre nous allons étudiés les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition des briques à savoir :

- la masse volumique ;
- la granulométrie ;
- la composition chimique ;
- les propriétés physiques.

Et nous observons que l'absence d'une méthode usuelle pour la formulation des mortiers de plâtre à base de sable de dunes, en utilisant les recommandations des travaux de **C.N.E.R.I.B**, et nous effectuons certains essais pour obtenir une pate a des propriétés adéquates.

II- Caractéristiques des différents matériaux utilisés

II.1- Sable de dunes

Le sable de dunes est le résultant d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivie d'un transport fluviatile et parfois éolien. La plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz. Il est caractérisé par une granulométrie fin et très serré. Et pour notre étude on a utilisé le sable de dunes de GUERRARA (GHARDAIA).

1.1-Masses volumiques

Les résultats des essais de la masse volumique apparente ρ_a et la masse volumique absolue ρ_s de sable est :

$$\rho_a = 1489 \pm 1,42 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_s = 2563 \pm 2,01 \text{ kg/m}^3$$

1.2- Analyse minéralogique du sable de dunes

Suivant des mesures menées à partir d'un diffractogramme **Figure III-1**, qui a été effectué au niveau du laboratoire de physique à l'université de OUARGLA, on peut constater ce qui suit:

- Le quartz forme une grande part des minéraux avec un pourcentage de 80 %.
- Le gypse se trouve sous forme de grains fins de couleur blanchâtre avec un pourcentage de l'ordre de 3 %.
- Le feldspath et la calcite sont trouvés avec des pourcentages faibles au tour de 10 % [38].

La **Figure III.1** présente le diffractogramme pour les analyses minéralogiques du sable des dunes.

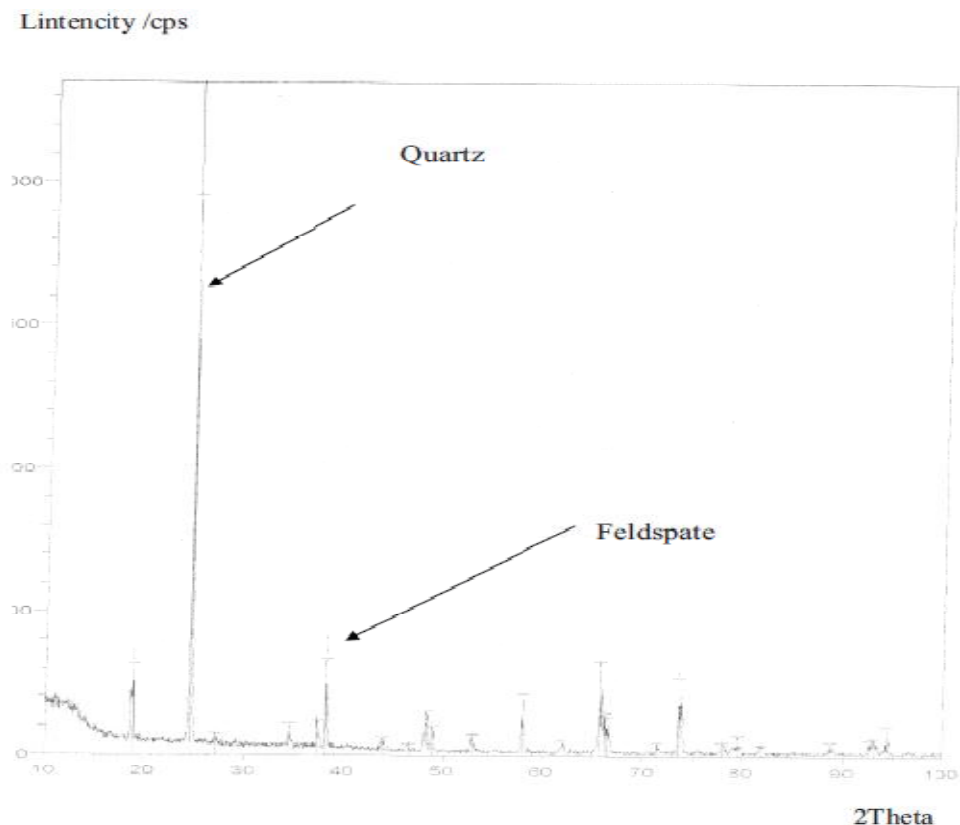


Figure III.1 : Diffractogramme de sable des dunes.

1.3-Analyse chimique de sable de dune

Le **tableau III.1** montre les pourcentages des composants chimiques du sable des dunes. Cette analyse est réalisée au laboratoire LTP Sud de Ouargla [38].

composants	Fe ₂ O ₃ - Al ₂ O ₃	SO ₄ Ca, 2H ₂ O	SO ₄	Ca CO ₃	Insoluble	Na cl	Perte au Feu
pourcentage (%)	0,25	2,78	0,51	1,3	93,23	tarce	1,16

Nous remarquons que le pourcentage du (SO₄ Ca), (SO₄) est inférieur au seuil préconisé. De ce fait le sable utilisé est non agressif.

1.4-Analyse granulométrique de sable de dune

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Cet essai est défini par la norme **NF P18-560**.

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

Les résultats d'analyse granulométrique du sable utilisé sont représentés dans le **tableau III.2** et la **Figure III.2**.

ouverture des tamis (mm)	Refus partiel en (g)	Refus cumulé en (g)	Refus cumulé en (%)	Tamisât en(%)
5,000	0,00	0,00	0,00%	100%
2,500	0,00	0,00	0,00%	100%
1,250	0,00	0,00	0,00%	100%
0,630	0,00	0,00	0,00%	100%
0,315	514,10	514,10	25,71%	74%
0,160	1367,40	1881,50	94,08%	6%
0,080	107,00	1988,50	99,43%	1%
Fond	9,00	1997,50	99,88%	0%

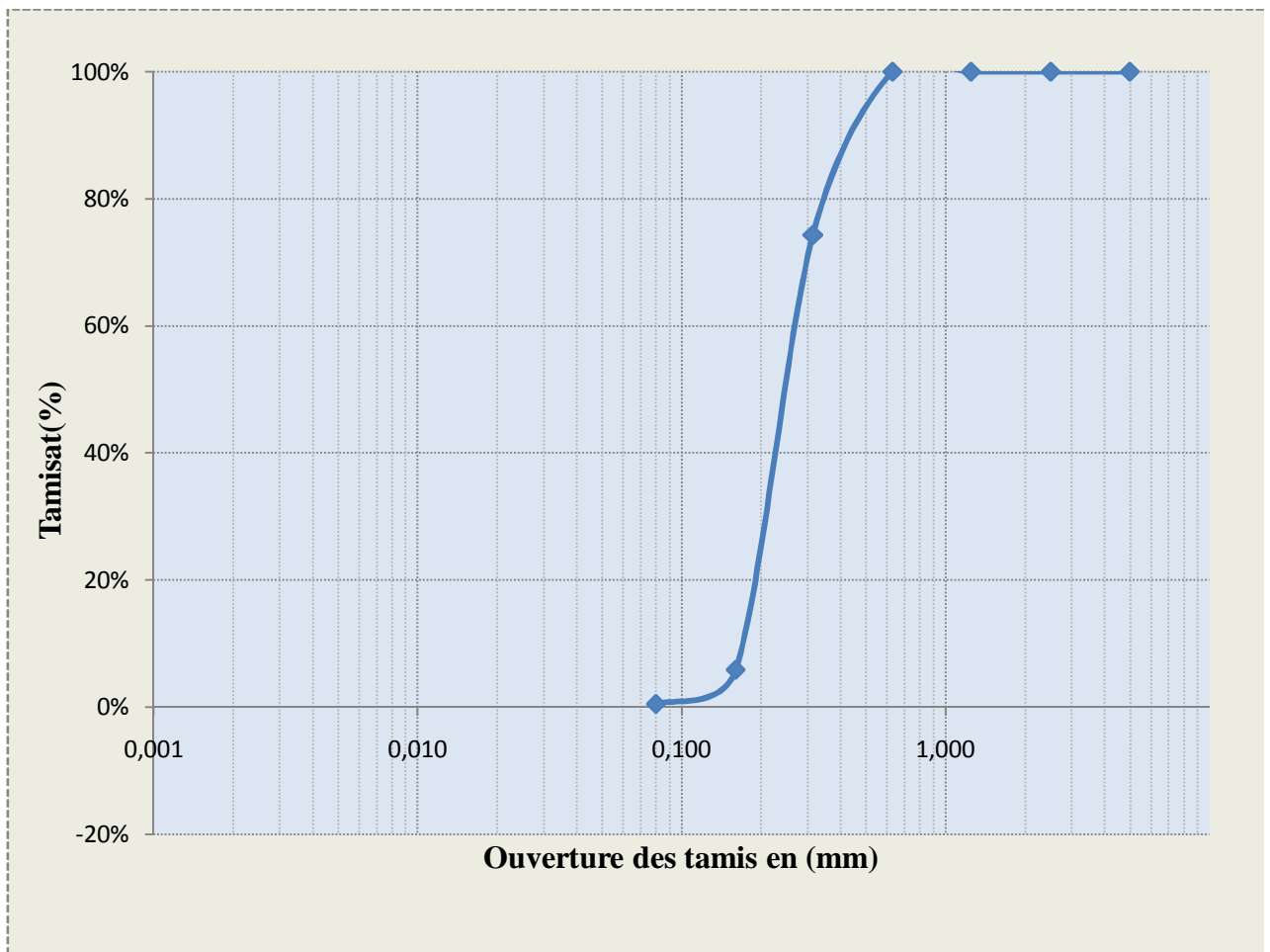


Figure III.2 : Analyse granulométrique de sable de dunes.

1.5-Modules de finesse de sable de dune

Le module de finesse d'un sable est égal à 1/100e de la somme des refus cumulés des tamis de 0.16 à 5 mm. Cet essai est défini par la norme **NF P18 304**.

Pour les sables utilisés dans notre étude on a trouvé la valeur suivante : $M_F = 1.19$.

Le module de finesse du sable fin utilisé dans la confection des bétons et mortiers doit être situé entre 1.7- 2.8, de ce fait nous remarquons que M_F du sable utilisé est hors le fuseau recommandé par la norme.

A partir du courbe d'analyse granulométrique et de coefficient de module de finesse on peut voir clairement qu'on a un sable très fin.

1.6- Equivalent de sable

Cet essai est défini par la norme **NF P18-598**, il est utilisé pour évaluer la propreté du sable entrant dans la composition du béton ou mortier, par conséquent la proportion des impuretés argileuses contenants dans le sable par rapport à la quantité des grains solides sableux. Il est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Il consiste de laver un poids défini de sable dans une solution lavante. Après agitation, on laisse le mélange se décanter pendant 20 min, on en déduit l'équivalent de sable qui est par convention:

$$E_s = (h_1/h_2) \times 100 \%$$

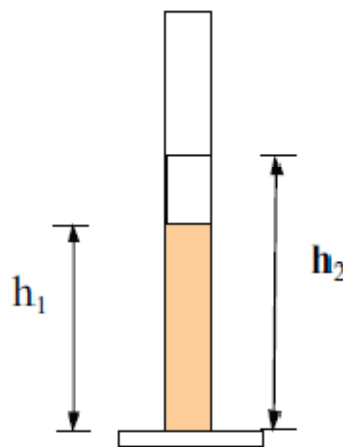


Figure III.3 : Essai d'équivalent de sable.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Equivalent de sable visuel $E_{SV} = 93.6$

Equivalent de sable au piston $E_{Sp} = 91.8$

Donc ce sable est très propre et acceptable pour la composition des mortiers gypseux et des mortiers de plâtre.

II.3- Eau de gâchage

L'eau utilisée est celle du robinet de la ville de Ghardaïa. Joue les fonctions suivantes :

- L'hydratation de plâtre ;
- Le mouillage des granulats (sable) et fibres;
- Le malaxage et la mise en œuvre (améliore la maniabilité de mortier).

II.4- Chaux

4.1- L'effet de chaux sur la prise de plâtre

On a utilisé la chaux aérienne comme retardateur de prise du plâtre, car elle diminue la solubilité de ce dernier et permet d'augmenter son temps d'emploi. En plus elle n'affecte pas ces propriétés mécaniques.

A fin de vérifier cela, des essais ont été effectués sur des compositions ayant différents pourcentages de chaux. **La Figure III.4** ci-dessous nous montre l'effet du pourcentage de la chaux sur le temps de prise du plâtre [4].

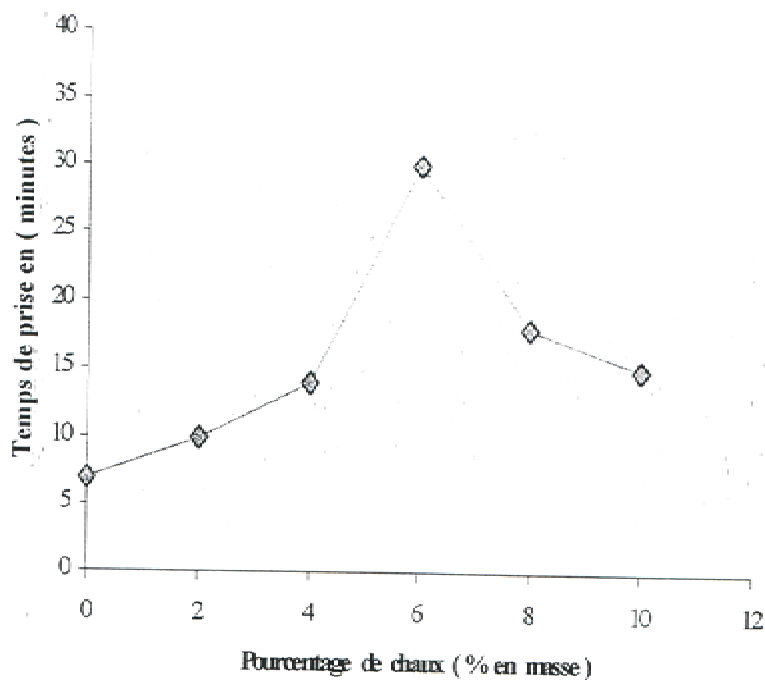


Figure III.4 : Influence du pourcentage de la chaux sur le temps de prise du plâtre.

D'après la courbe ci-dessus, on peut constater que le temps de prise de plâtre évolue avec le pourcentage de la chaux ajoutée jusqu'à la valeur de 6%, au-delà de cette dernière, le temps de prise décroît.

4.2- L'effet de chaux sur le pH de plâtre

Pour expliquer la chute considérable du temps de prise, il a été question de faire une corrélation entre le phénomène de prise et l'effet chimique de l'ajout de chaux au plâtre en déterminant le **pH** des solutions (plâtre + chaux).

Tout d'abord, on peut mesurer le **pH** de plâtre à partir de leur constituant essentiel qui est le $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ cristallisé ($M_m = 172,17 \text{ Kg/mol}$) avec une concentration de 10% dans l'eau. [39] a trouvé une valeur de **pH** = 4,71, ce qui implique que le milieu est acide.

On peut vérifier cette constatation avec la présence d'autres constituants chimiques de plâtre montrés par [4], **DJOUDIA** [4] a trouvé pour une solution de plâtre un **pH** = 10,25, ce qui montre que le plâtre utilisé mis en contact avec l'eau est un milieu basique.

Les résultats de l'effet chimique de la chaux sur le milieu plâtre sont illustrés sur la **Figure III.5** ci-dessous.

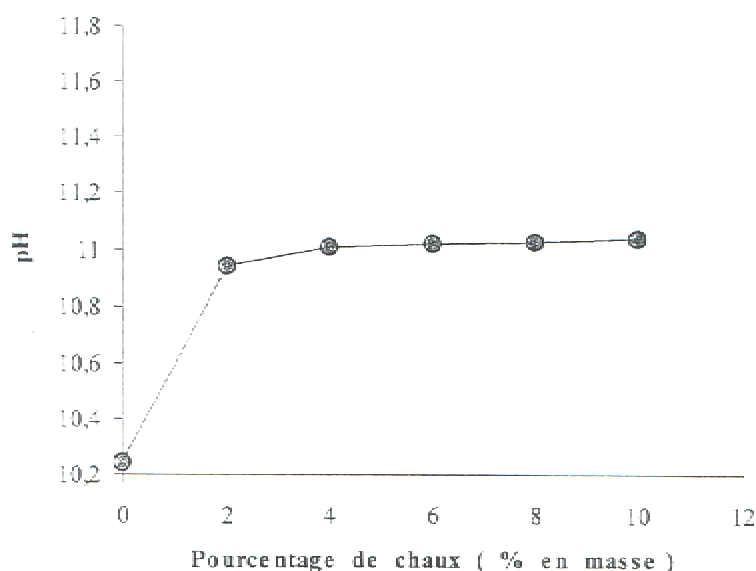


Figure III.5 : Variation du pH du plâtre en fonction du pourcentage de chaux.

D'après la **Figure III.5** et [4], on remarque que le **pH** des solutions (plâtre + différents pourcentages de la chaux) croît avec l'augmentation du pourcentage de la chaux jusqu'à la valeur de 6%, où il a tendance à se stabiliser, d'où la chute du temps de prise.

On peut conclure que la chaux, outre son rôle comme retardateur de prise, elle stabilise le milieu basique du plâtre et ce point est très important dans le cas de la présence des armatures dans un milieu fortement basique, par contre un excès de la chaux (au-delà de 6%) diminue le temps de prise.

4.3- Composition chimique de chaux

Une analyse chimique de la chaux utilisée a été effectuée en utilisant la méthode de diffractométrie par rayons X au labo. physique à l'université de LAGHOUAT, les résultats de cette technique sont présentés sur le diffractogramme ci-dessous [4].

L'analyse des résultats et en s'appuyant sur la banque des données, montre que la chaux utilisée possède deux types de calcites et qui sont :

- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ avec un système Rhomboédral;
- CaCO_3 avec un système Hexagonal.

Il est montré aussi que le $\text{Ca}(\text{OH})_2$ est l'espèce la plus prépondérante par rapport au CaCO_3 . Ce qui affirme que la chaux utilisée est une chaux aérienne.

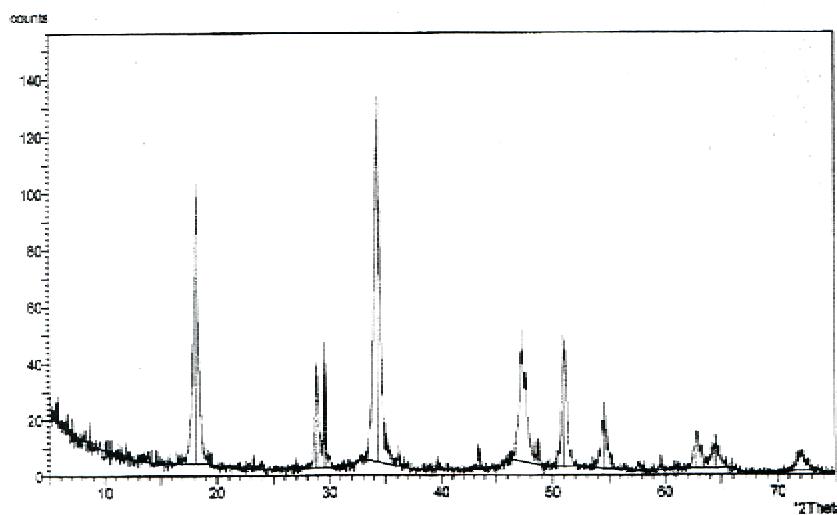


Figure III.6 : Diffractogramme de la poudre de la chaux par les rayons X.

II.5- Fibres

Les fibres utilisées sont des fibres végétales de DOKAR du palmier dattier de la région de OUARGLA .

D'après **KRIKER [40]** ; ces études effectuées sur quatre types de fibre de surface de palmier dattier (les fibres de dokar, deglette nour, degla bida et d'elghers), il a constaté que les fibres de dokar donnent le meilleur résultat de point de vue résistance à la traction. C'est pour cette raison notre choix est porté pour les fibres de dokar.

5.1- les propriétés physiques et mécaniques des fibres de palmier dattier

Les fibres utilisées possédant les caractéristiques suivantes [18]:

Masse volumique apparente	$\rho_a = 512.21 - 1088.81 \text{ Kg/m}^3$		
Masse volumique absolue	$\rho_s = 1300 - 1450 \text{ Kg/m}^3$		
Résistance à la traction [MPa]	L=100 mm	L=60 mm	L=20 mm
	170 \pm 40	240 \pm 30	290 \pm 20
Déformation à la rupture	d = 0.232 (fibre de diamètre 8 mm)		
Taux d'humidité	w = 9.5 - 10.5 %		
Taux d'absorption (après 24 H)	TA = 96.83 - 202.64 %		
Diamètre (des fibres utilisées)	d = varié entre 0.2 - 1 mm		

5.2- Compositions minéralogique des fibres de palmier dattier

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

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

Nous constatons que les fibres utilisées contiennent un taux remarquable de la SiO₂ et de CaO.

5.3- Microstructure des fibres de palmier dattier

L'examen de la texture des fibres utilisées par MEB est présentée sur les photos ci-dessous [40].

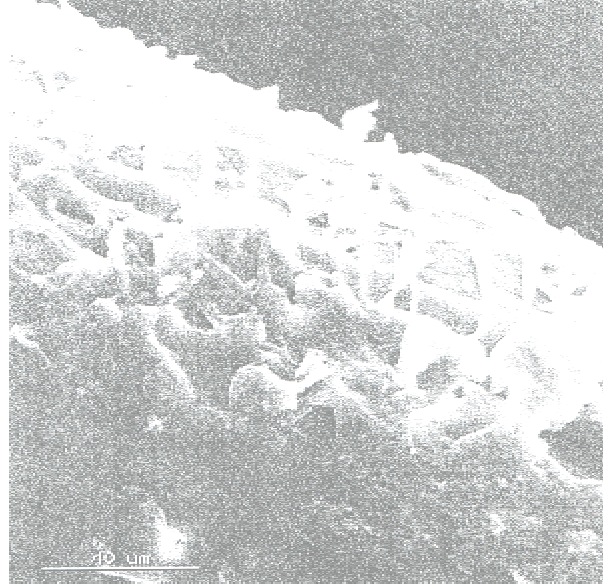


Photo III.1 : Observation de texture de fibre du palmier par MEB [40].

D'après la **photo III.1**, on observe que dans la texture de la fibre il n'existe pas des formes géométriques régulières (pas de structure cristalline), ce qui implique que la fibre du palmier est un composé amorphe, cette constatation a été confirmée aussi par la diffraction de la poudre de fibres par rayons X et présentée sur la **Figure III.7**.

On remarque d'après la **Figure III.7**, qu'il n'existe pas des pics qui définissent l'existence d'une structure cristalline, donc on peut confirmer que les fibres utilisées sont amorphes.

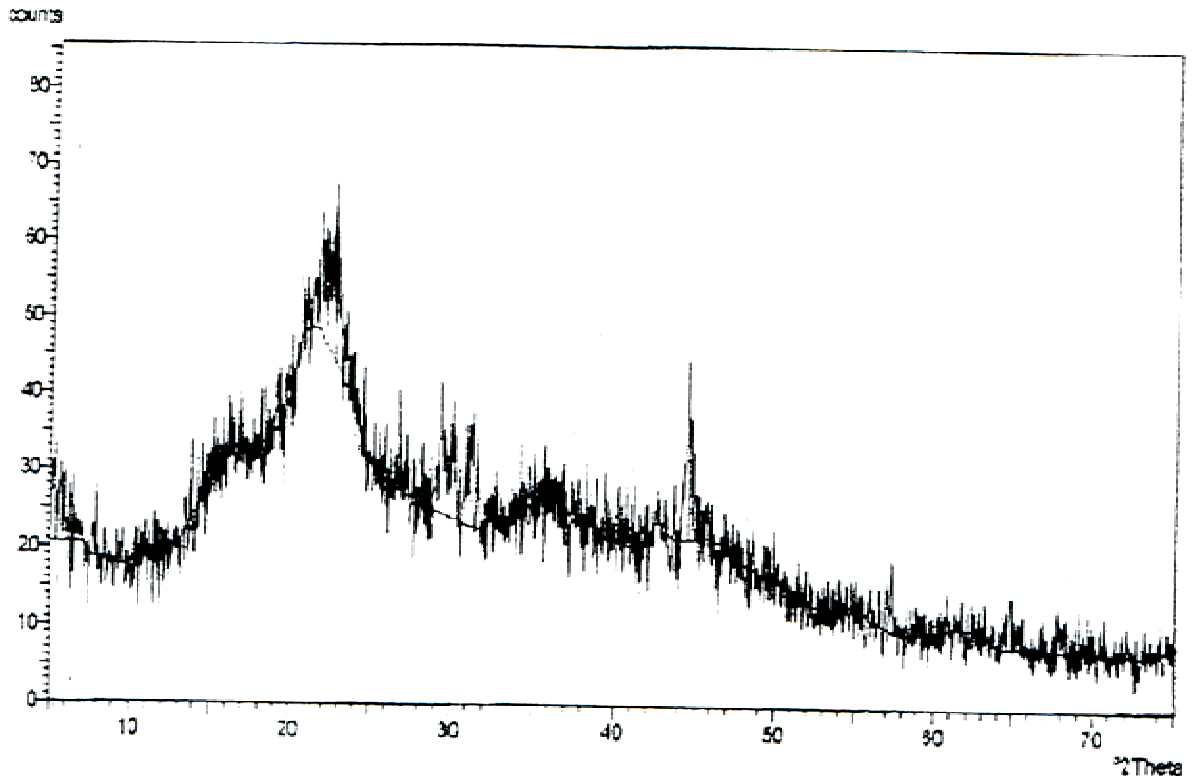


Figure III.7 : Diffractogramme de la poudre de fibre du palmier par les rayons X [40].

La **photo III.2** présente une coupe transversale de la fibre de palmier dattier et qui montre que la fibre possède une section pleine.

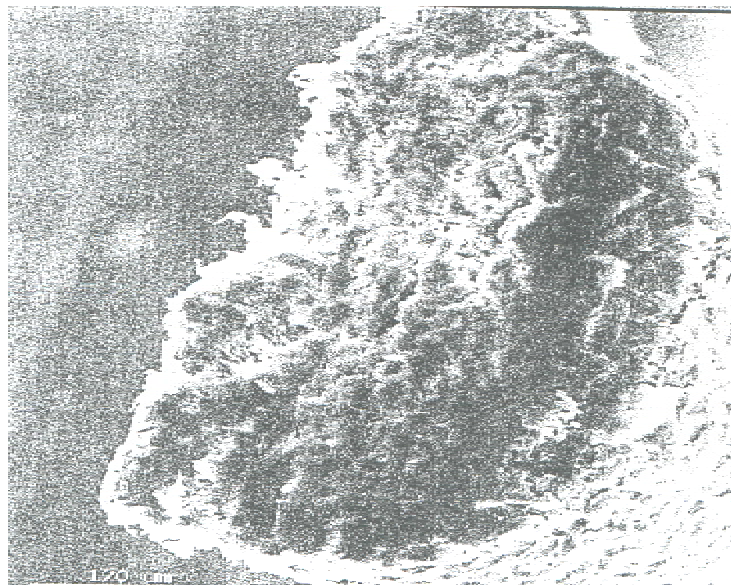


Photo III.2 : Observation d'une coupe transversale de la fibre du palmier par MEB [40].

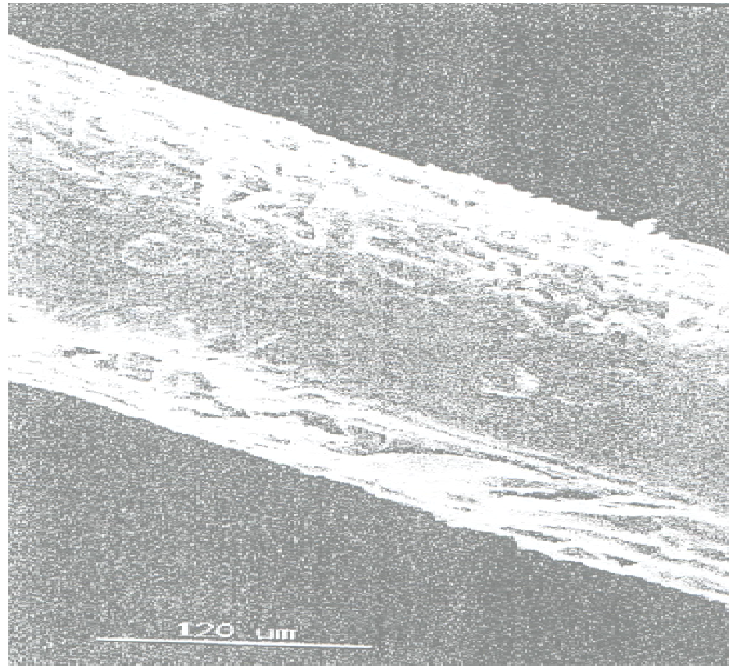


Photo III.3 : Observation d'une vue longitudinale de la fibre du palmier par MEB [40].

La **photo III.3**, montre que la fibre est constituée de très petits filaments constitués d'un ensemble des feuillets (sous formes de page de livres) orientés dans le sens de la longueur.

Les feuillets désordonnés permettent la flexibilité du filament. En plus on observe la présence de certains pores dans la fibre ce qui affirme qu'elle est hydrophile (pouvoir d'absorber l'eau). **Photo III.4** [40].



Photo III.4 : Observation des pores dans la fibre du palmier par MEB [40].

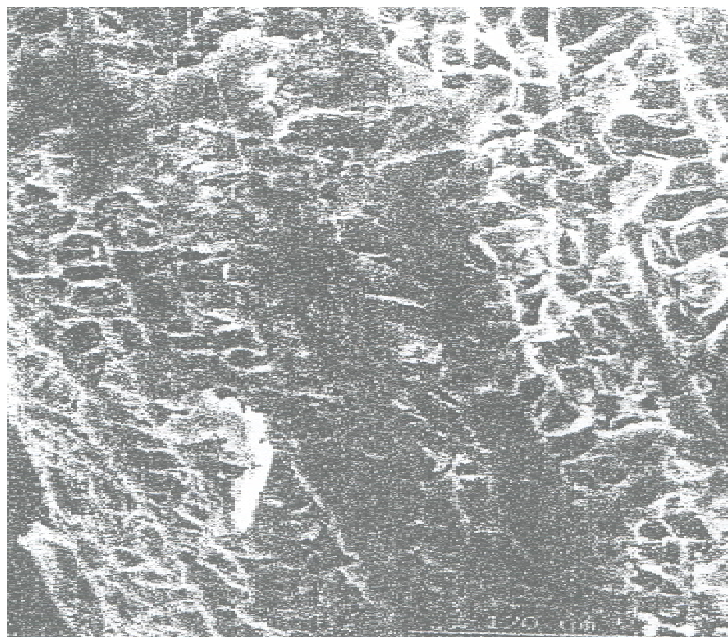


Photo III.5 : Observation d'une vue tangentielle de la fibre du palmier par MEB [40].

D'après la **photo III.5**, on remarque que la fibre possède des enchevêtrements, ce qui assure une bonne adhérence fibre-matrice.

II.6- Plâtre

Le plâtre utilisé est un produit local prélevé de la carrière d'**OASIS** à Ghardaïa. Il est disponible dans le marché.

6.1- Compositions minéralogique et chimique de plâtre

Les compositions minéralogique et chimique nous ont été transmises par les fiches techniques de l'usine.

Une analyse minéralogique, peut montrer que notre plâtre utilisé possède une teneur en $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ environ 96%, ce qui exige que le plâtre utilisé est classé en **classe I** qui correspond à une teneur en $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ supérieure à 90% .

L'analyse chimique est résumée dans le **Tableau III.5**.

Tableau III.5 : Analyse chimique du plâtre									
Constituants	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₂	Na ₂ O	KO	CL
Pourcentage (%)	0,70	0,10	0,08	32,15	0,53	44,95	0,09	0,03	0,002

On remarque à partir du **Tableau III.5**, que les deux espèces les plus prépondérantes sont le SO_2 et CaO . Ce qui affirme que le plus essentiel dans le plâtre, est le sulfate de calcium.

6.2- Propriétés essentielles de plâtre

On peut résumer certaines propriétés essentielles dans le **Tableau III.6**, pour identifier le plâtre.

Masse volumique apparente (kg/m ³)	840-915	
Masse volumique absolue (kg/m ³)	1100-1300	
Refus de tamis 800 µm	2,60%	
Refus de tamis 200 µm	14,20%	
Finesse suivant la méthode de Blaine en cm ² /g	1500-8000	
Temps de prise (E/P=0,6)	Début de prise (min)	7
	Fin de prise (min)	15
Résistance à la traction (E/P=0,6) [MPa]	1h	3,48
	24 h	3,73
	7 jours	3,99
Résistance à la compression (E/P=0,6) [MPa]	1h	8,51
	24 h	9,27
	7 jours	10,11

À partir du **Tableau III.6**, nous observons :

- L'enregistrement des refus des tamis 800 µm et 200 µm, est apprécié la finesse du plâtre. Le refus de tamis 800 µm (2,60%) < 20%, et le refus de tamis 200 µm (14,20%) > 5%, ce qui implique que le plâtre utilisé est un plâtre gros de construction.
- Le temps de prise est, le temps nécessaire pour mettre en œuvre de plâtre, le plâtre utilisé dans notre recherche a un temps très court de prise de 7 minutes d'où la nécessité d'un retardateur de prise.
- Le plâtre atteint ses résistances à la traction et à la compression, très vite surtout sa résistance à la traction.

III- Etude et composition de mortier de plâtre

Il est techniquement possible de mélanger le plâtre avec le sable de façon à obtenir des plâtres amaigris ou mortiers de plâtre. L'objectif poursuivi est alors naturellement de réaliser des économies. Mais les propriétés des nouveaux matériaux ainsi constitués diffèrent évidemment de celles de plâtre de base, ce qui implique des modalités de mise en œuvre différentes. L'économie visée n'est alors pas aussi systématiquement et facilement atteinte qu'on aurait pu l'espérer.

Il n'existe pas d'étude exhaustive sur les mortiers de plâtre. Ce type d'étude complète serait d'ailleurs très difficile à mener, car les caractéristiques finales des mortiers sont très fortement influencées par la nature et les proportions des matériaux utilisés c'est-à-dire le plâtre et le sable. L'absence de ces études, nous a conduit à faire une composition de notre mortier de plâtre par des essais nous effectuons pour atteindre des meilleurs propriétés physiques et mécaniques.

III.1- Plan de travail

L'ajoute du sable au plâtre influe directement sur les propriétés physiques et mécaniques du mélange résultant, Il est très clair que cet ajout affecte certaines propriétés telles que le temps de prise, la densité et les résistances mécaniques, mais la question la plus importante est quel est le taux de diminution et son impact sur les propriétés finales.

Le principal objectif de cette étape est d'obtenir un mortier de plâtre ayant des propriétés mécaniques acceptables et suffisantes par rapport aux propriétés de la pâte pure de plâtre.

La stratégie à suivre pour ce travail est comme suit :

- 1- Etude sera faite sur une pâte de plâtre pure, et d'étudier l'influence du rapport E/P sur les résistances à la traction et à la compression. Pour déterminer les valeurs de rapport E/P correspondant à des bonnes propriétés mécaniques, et bonne maniabilité de pâte.
- 2- Dans la deuxième phase, on va ajouter progressivement une proportion de sable de dune, pour voir l'influence de rapport S/P sur les propriétés mécaniques. Tout en maintenant le rapport E/P idéal provenant des essais précédents.
- 3- Enfin, après avoir constaté le rapport S/P, nous menons des essais afin d'obtenir le taux de E/P optimale de mortier de plâtre.

III.3- Méthode d'essai

On a confectionné des éprouvettes prismatiques (4×4×16) cm³, à savoir des séries de 6 éprouvettes pour chaque échéance d'essai, les éprouvettes sont conservées dans les conditions normales du laboratoire, jusqu'à l'âge de 28 jours.

La résistance à la flexion du mortier est déterminée selon la norme **EN 196-1** par un dispositif de flexion trois points **Figure III.8** et à l'aide d'une machine **ELE** destinée à la détermination de la résistance à la flexion.

La résistance à la flexion (la résistance de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette) est donnée par la formule : $R_f = \frac{1,5 F_f \times L}{b^3} \dots \dots [\text{Mpa}]$.

Avec : **F_f** : Charge de rupture en N.

L: La distance entre les appuis (L = 100 mm).

b: Le côté de la section carrée de l'éprouvette (b = 40 mm).

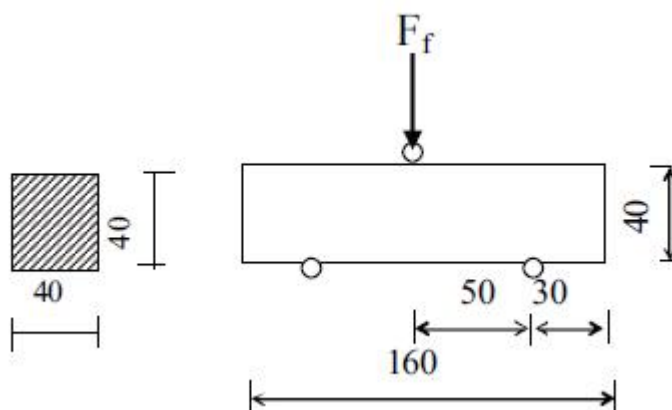


Figure III.8 : Dispositif pour l'essai de résistance à la Flexion trois points.

La résistance à la compression des mortiers est mesurée conformément à la norme **EN 196-1**, à l'aide d'une presse hydraulique de type **MAURICE PERRIER**. Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion seront rompus en compression comme l'indique la **Figure III.9**.

Si F_c est la charge de rupture à la compression, et b est le côté de la section, la contrainte de rupture (résistance à la compression) sera : $R_c = \frac{F_c}{b^2} \dots \dots \dots$ [Mpa].

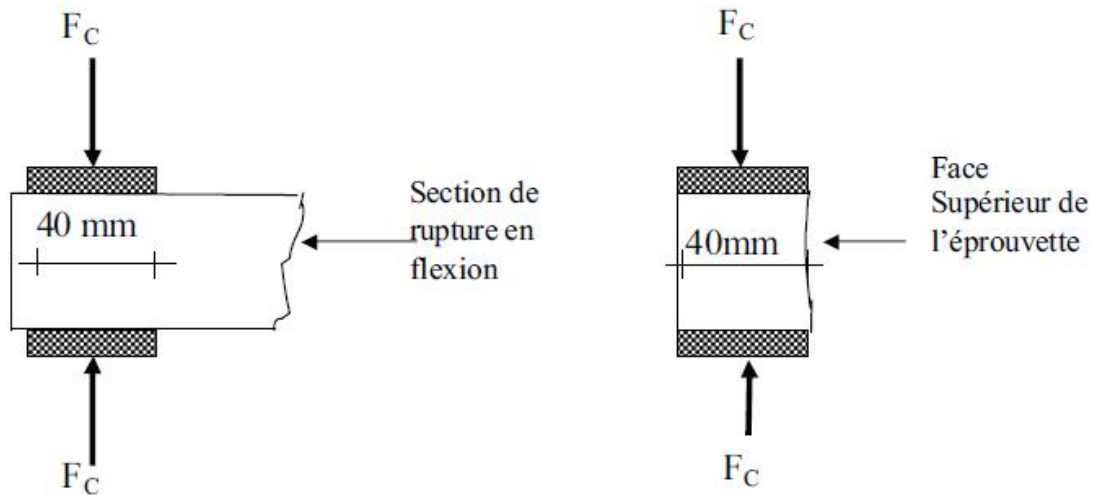


Figure III.9 : Dispositif pour l'essai de rupture en compression.

III-4 Etude de la composition de pâte de plâtre et mortier de plâtre

4-1 Détermination du rapport de E/P de pâte de plâtre pure

Pour la détermination du taux E/P correspondant à une bonne résistance et bonne maniabilité, nous effectuons des essais qui sont représentés dans le **Tableau III.7**.

Tableau III.7: Influence d'E/P sur la résistance mécanique à la compression de plâtre pure.					
E/P	0,40	0,50	0,60	0,80	0,90
Rc (kg/cm ²)	125±0,32	105±0,51	95±0,31	76±0,88	74±1,03

Les résultats de la résistance à la compression Rc sont obtenus à 28 jours, et en même temps nous observons la maniabilité de pâte de plâtre par œil nue afin de faciliter leur mise en œuvre.

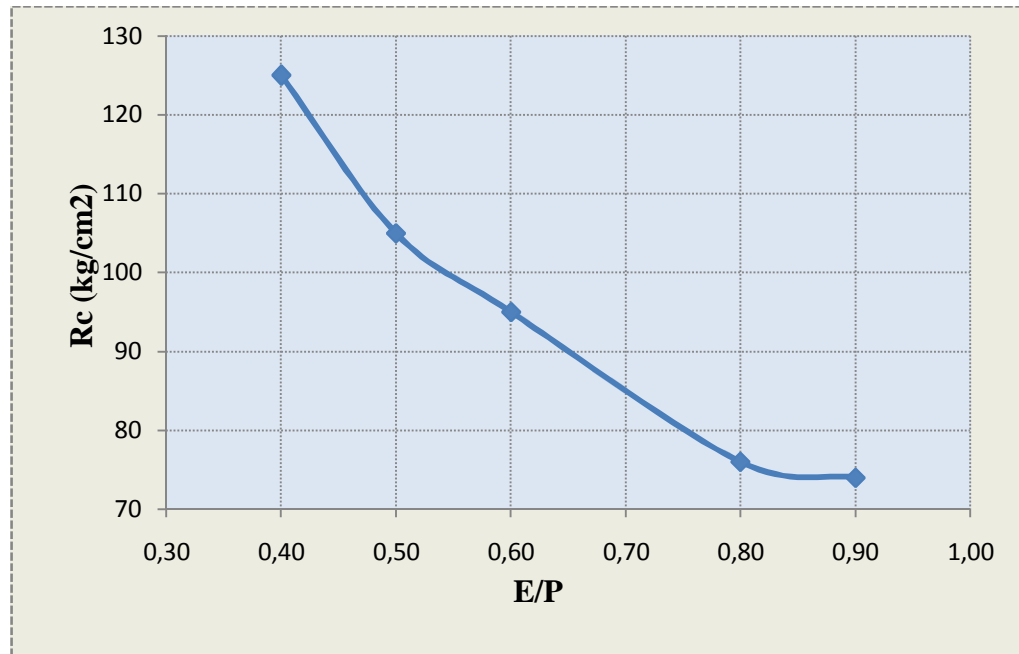


Figure III.10 : Influence de E/P sur la résistance à la compression de pâte plâtre pure.

La **Figure III.10** montre que la résistance à la compression décroît avec l'augmentation du rapport E/P. Ceci est expliqué, une fois la cristallisation achevée, l'eau de gâchage non fixée chimiquement quitte le matériau au cours du séchage. Le départ de cette eau crée une porosité interne. En conséquence, plus le plâtre est gâché avec beaucoup d'eau, le pourcentage des vides augmente, et la résistance à la compression baisse.

Pour notre pâte on prend un rapport E/P = 0.60 ce qui donne une meilleure ouvrabilité et une résistance satisfaisante, ces résultats sont presque conformes aux recherches et recommandations de **C.N.E.R.I.B** [5].

4-2 Détermination du rapport S/P de mortier de plâtre

L'objectif de cet essai est de déterminer la proportion de sable ajouté pour trouver un mélange avec des propriétés mécaniques acceptables. Pour cela, nous prendrons la valeur de E/P qui a été trouvée dans l'essai précédent, et on utilise un sable de dunes, la teneur en eau fixée (teneur en eau de saturation $W = 33\%$). Les résultats sont résumés dans le **Tableau III.8** ci-dessous.

S/P	0,00	0,50	0,80	1,00	1,50
Rc (kg/cm ²)	109,0±0,98	98,0±1,13	95,0±1,76	90,0±0,95	83,0±1,54

L'ajout de sable de dunes provoque une diminution de résistance à la compression. Par rapport à la pâte pure de plâtre. Ceci est illustré dans la **Figure III.11**.

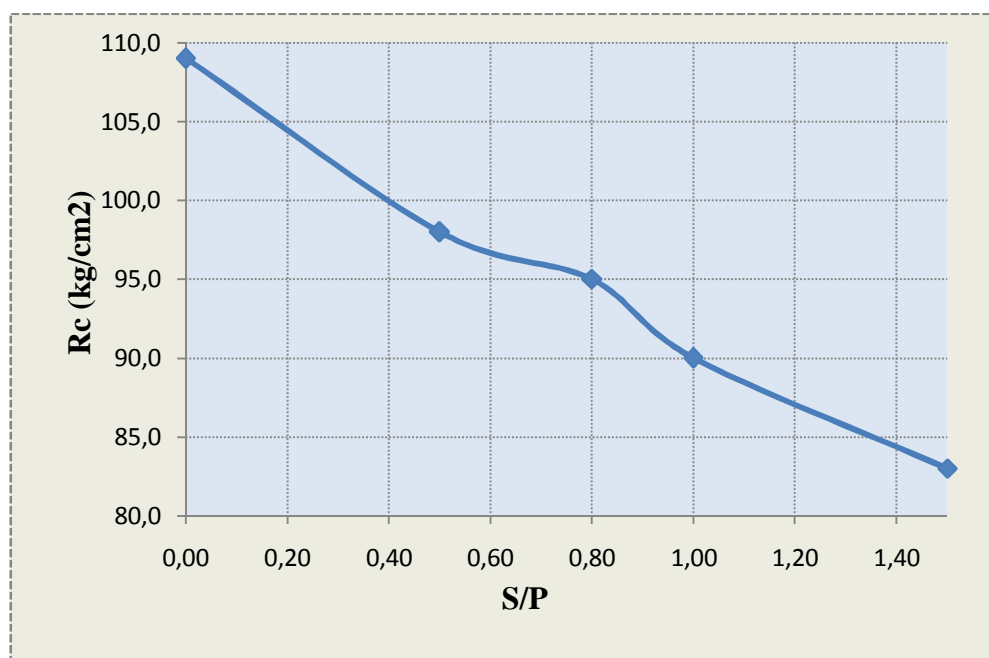


Figure III.11 : Influence de S/P sur la résistance mécanique à la compression de mortier de plâtre.

Comme le montre dans la **Figure III.11** ; la résistance de mortier à la compression chute avec l'augmentation de rapport S/P. Pour cela, il faut se méfier en la prise du rapport S/P approprié, Parce qu'il est très sensible à ses effets sur la résistance. D'après les recommandations de **C.N.E.R.I.B [5]** et nos résultats ; on prend S/P = 0.5 ce qui donne une meilleure ouvrabilité et une bonne résistance.

4-3 Détermination du rapport E/(P+S) de mortier de plâtre

Dans cet essai, nous allons étudier le rapport E/(P+S) et leur effet sur la résistance à la compression et sur la maniabilité de mortier de plâtre. Selon les résultats des essais

précédents, où nous prendrons le rapport S/P=0.50, Les résultats obtenus sont présentés dans le **Tableau III.9**.

Tableau III.9: Influence de E/(P+S) sur la résistance mécanique à la compression de mortier de plâtre.					
E/(P+S)	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70
Rc (kg/cm ²)	112±2,12	100±1,73	92±1,45	87±1,98	76±2,53

Un examen préliminaire du **Tableau III.9**, nous notons que le mortier au même comportement que la pate de plâtre pur vis à vis l'ajout de l'eau.

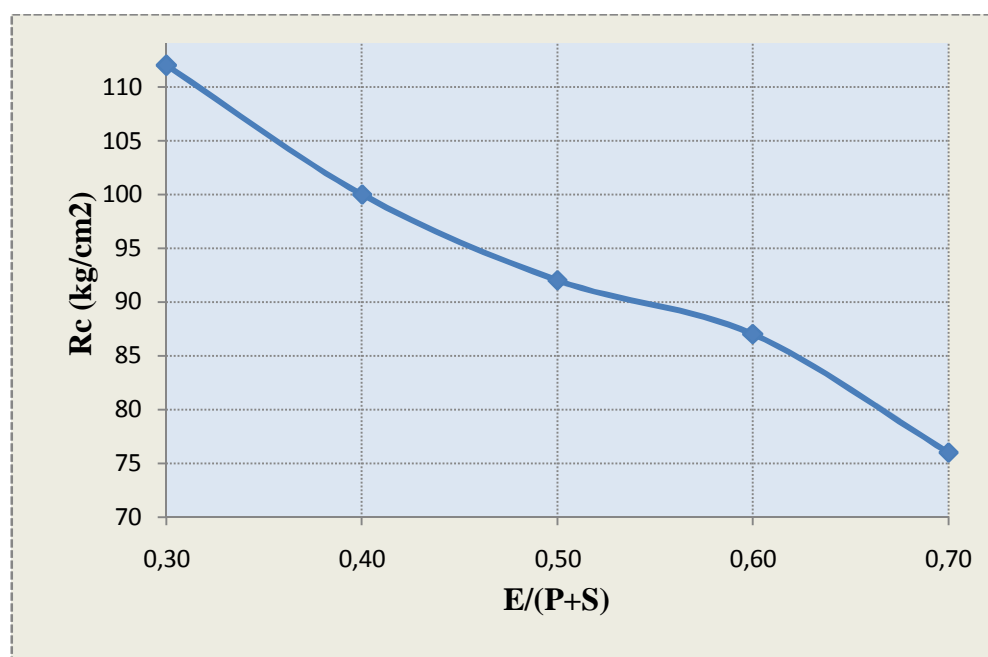


Figure III.12 : Influence de E/(P+S) sur la résistance mécanique à la compression de mortier de plâtre.

A partir **Figure III.12** on peut conclure, que la résistance à la compression de mortier de plâtre diminue avec l'augmentation de rapport E/(P+S), ceci est dû à la dispersion de l'eau non liée chimiquement après durcissement de mortier de sable de dunes. Cette dispersion provoque une augmentation des vides dans le mortier et par conséquent la chute de la résistance.

Pour une bonne maniabilité et une résistance à la compression satisfaisante, et avec une comparaison avec les recommandations de **C.N.E.R.I.B [5]**, on prend un rapport $E/(P+S) = 0,60$.

4-4 Etude de la variation de la résistance à la compression et à la flexion de pâte de plâtre pure et mortier de plâtre

Dans cette étape, on va utiliser les résultats des essais précédents, en ce qui concerne les types, le plâtre pure et mortier de plâtre. Ensuite, on observe l'évolution de la résistance à la compression et à la flexion dans temps pour les deux types, et parallèlement nous remarquons également la différence entre eux.

Alors, nous effectuons les essais sur les deux types, avec les compositions suivantes :

- a- Pour la pâte de plâtre pure : on prend $E/P = 0.6$
- b- Pour le mortier de plâtre : on prend $S/P = 0.5$ et $E/(S+P) = 0.6$

Les éprouvettes sont conservées à l'air ambiante de laboratoire à une température d'environ de 25 ± 1 °C, et l'écrasement s'effectue aux âges : 3 jours, 7 jours, 14 jours et 28 jours.

4.4-1 Etude de la variation de la résistance à la compression de pâte de plâtre pure et mortier de plâtre

La résistance à la compression c'est une caractéristique très importante pour un matériau de construction, Le but est d'étudier cette propriété pour le plâtre, avec ou sans sable de dunes. Les résultats sont résumés dans le **Tableaux III.10**.

Tableaux III.10 : La résistance à la compression de plâtre et mortier de plâtre				
Age (jours)	3	7	14	28
Plâtre pure Rc (kg/cm ²)	87,0±1,92	110,0±1,77	123,0±0,97	125,0±1,53
Mortier de plâtre Rc (kg/cm ²)	78,0±0,63	93,6±1,89	111,0±2,09	112,0±1,64

D'après le **Tableaux III.10**, nous notons que l'ajout de sable de dunes provoque une diminution de la résistance à la compression de plâtre. Ceci est cohérent avec la plupart des études concernant ce sujet.

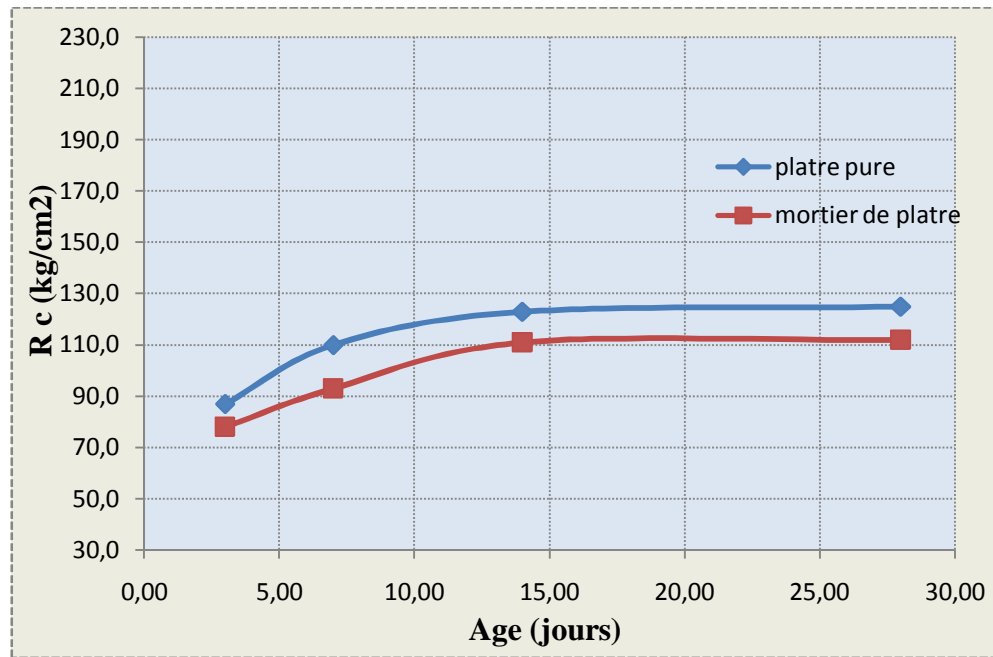


Figure III.13 : Variation de résistance à la compression de plâtre et mortier de plâtre dans le temps.

On peut voir clairement à partir de la **Figure III.13**, que les deux courbes évoluent rapidement depuis l'âge de 3 jours à 14 jours, puis devient stable, et ses évolutions sera lentes jusqu'à atteindre la résistance maximale à l'âge de 28 jours.

Et nous constatons aussi, qu'il ya le même comportement pour les deux courbes, malgré leur même évolution dans le temps.

On remarque que l'ajout de sable de dunes au plâtre réduit la résistance à la compression progressivement dans le temps. Au début une légère diminution ne dépasse pas 5%, et finalement atteindre une diminution de 10% à la résistance à la compression de plâtre pure.

4.4-2 Etude de la variation de la résistance à la flexion de plâtre pur et mortier de plâtre

La plupart des matériaux de construction caractérisés par une faible résistance à la traction. Et le plâtre ne fait pas l'exception à cette règle. Dans ces essais nous allons observer l'effet de l'ajout de sable sur la résistance à la traction, voir le **Tableau III.11**.

Age (jours)	3	7	14	28
Plâtre pure Rf (kg/cm ²)	23,0±1,82	36,1±1,99	39,0±2,42	42,3±1,95
Mortier de plâtre Rf (kg/cm ²)	21,0±0,97	25,1±1,19	30,0±1,44	38,0±1,67

Préliminairement, on remarque à partir du **Tableau III.11**, que l'ajout de sable influe sur la résistance à la flexion de plâtre.

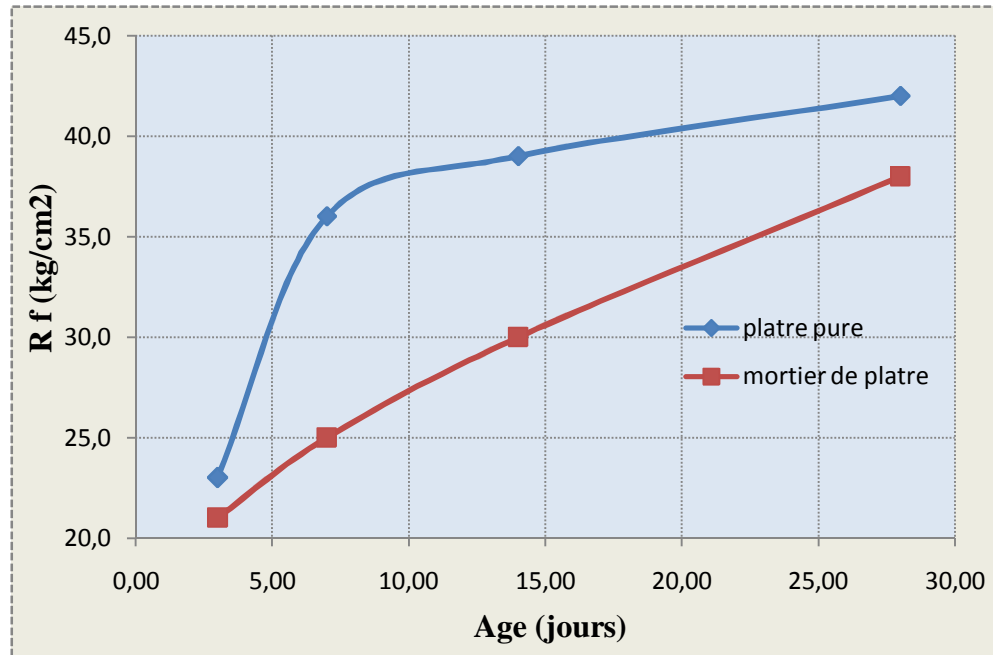


Figure III.14 : Variation de résistance à la flexion de plâtre et mortier de plâtre dans le temps.

D'après la **Figure III.14**, on remarque, pour les deux courbes que la résistance à la flexion évolue d'une manière régulière avec le temps. Une nette amélioration est obtenue entre l'âge de 3 jours et 14 jours, après quoi, la résistance croît sensiblement avec le temps jusqu'à l'âge de 28 jours.

L'ajout de sable au plâtre réduit la résistance à la flexion d'un pourcentage de 09%, par rapport de pâte pure de plâtre.

IV- Conclusion

Dans ce chapitre nous caractérisons les matériaux locaux utilisés dans notre étude, ces matériaux sont : le plâtre, le sable de dune, la chaux et les fibres de palmiers dattiers. Et nous faisons une étude préliminaire de composition de mortier de plâtre. On peut conclure les points suivants :

- ✓ Le plâtre utilisé, c'est un plâtre d'OASIS de Ghardaïa, avec une surface spécifique moyenne, et de prise satisfaisante aux spécifications des plâtres courants.
- ✓ L'eau de gâchage est celle de robinet du laboratoire de faible salinité.
- ✓ Les fibres utilisées sont des fibres de surface de palmier dattier de OUARGLA (type Dokar) de masse volumique apparente faible, avec une résistance à la traction moyenne de 290 MPa pour les fibres des longueurs de 20 mm.
- ✓ le sable de dunes de GUERRARA (Ghardaïa).c'est un sable qui est très propre et très fin avec une granulométrie serrée, leur module de finesse est de l'ordre de 1,19. Donc ce sable est très propre et acceptable pour la composition des mortiers gypseux et des mortiers de plâtre.
- ✓ Pour une bonne maniabilité et une résistance satisfaisante de pâte pure de plâtre, on prend un rapport de $E/P = 0,6$.
- ✓ Pour une composition adéquate d'un mortier de plâtre à base de sable de dune, qui vérifie une bonne maniabilité et résistance acceptable, on prend un rapport de $S/P = 0,5$, et un rapport de $E/(P+S) = 0,6$.

Chapitre IV

Caractérisation et durabilité de mortier de plâtre de fibre de palmier dattier

Caractérisation et durabilité de mortier de plâtre de fibres de palmier dattier

I-Introduction

L'incorporation des fibres de palmier dattier dans le mortier de plâtre, est réalisée afin d'améliorer la résistance à la traction et de diminuer sa fragilité. L'hypothèse importante que les fibres permettent l'arrêt du mécanisme de fissuration, en retardant le départ de la fissure et en la contrôlant une fois qu'elle apparaît.

Dans ce chapitre, nous allons examiner l'effet de l'ajout de fibres de palmiers dattier sur les propriétés physiques et mécaniques du mortier de plâtre. Nous étudions l'impact du taux et de longueur des fibres de palmier dattier sur les caractéristiques de mortier de plâtre, à court et à long terme.

II- Méthode expérimentale

L'objectif de notre travail consiste à obtenir un mortier de plâtre renforcé par des fibres de palmier dattier (bonne mise en œuvre) avec une bonne résistance mécanique et une bonne durabilité.

Ce travail présente, en premier lieu la formulation d'un mortier de plâtre (sans fibres) à base de sable de dunes. En deuxième lieu, nous avons choisi une formulation optimisée par l'incorporation des fibres, puis étudier l'effet de ces fibres sur :

- Ø Les caractéristiques physiques de mortier de plâtre (densité, absorption d'eau) ;
- Ø Les caractéristiques mécaniques de mortier de plâtre (compression, flexion) ;
- Ø Durabilité de mortier de plâtre.

III- Préparation de mortier de plâtre

En utilisant la composition de mortier de plâtre étudiée dans les chapitres précédents, et les recommandations de **C.N.E.R.I.B** [5].

III.1- Formulation de mortier de plâtre sans fibre

La préparation de mortier de plâtre a été faite en respectant soigneusement les démarches suivantes :

- Ø Tout d'abord, on fixe le rapport $E/(P+S) = 0,60$;
- Ø On ajoute une quantité du sable de dunes dont le rapport $S/P = 0,5$;
- Ø On ajoute 6% de la chaux aérienne comme retardateur de prise.

Pour la confection du mortier de plâtre, on recommande le mode opératoire suivante :

- Ø Mélange à sec le plâtre et le sable ;
- Ø Eteindre complètement la chaux arienne dans l'eau de gâchage ;
- Ø Ajouter progressivement cette eau aux matériaux avec malaxage.

III.2- Préparation des Fibres

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

III.3- Formulation de mortier de plâtre avec fibre

La détermination de la composition de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier, nous avons utilisé la même composition que celle du mortier classique, alors on prend la composition suivant :

- Ø On prend le rapport $E/(P+S) = 0,6$;
- Ø Le rapport de S/P est fixé à la valeur 0,5 ;
- Ø On ajoute 6% de la chaux aérienne comme retardateur de prise.
- Ø Après la préparation des fibres de palmier dattier, on respecte les recommandations de **KRIKER [40]**. Pour cela, les fibres utilisées sont traitées dans l'eau, puis séchées à l'aire libre.

Le malaxage s'effectue de la façon suivant :

- Ø On mélange tout d'abord le sable et les fibres à sec ;
- Ø On ajoute le plâtre, tout en le mélangeant bien avec le sable et les fibres ;
- Ø On ajoute l'eau de gâchage et la chaux en malaxant bien le mélange.

IV- Confections des éprouvettes et conditions de conservation

Après le malaxage, on remplit les moules à raison de deux couches et vibrer le mortier à l'aide d'une tige pour assurer une bonne distribution et une orientation correcte des fibres, et enfin araser et lisser la surface du mortier. Les éprouvettes sont confectionnées, elles sont placées à l'air libre au laboratoire. Après 24 heures, ces dernières sont démoulées et placées à l'air libre à une température de $(25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C})$ jusqu' au moment de l'essai, cette procédure est faite pour toutes les compositions et pour tous les essais.

Les éprouvettes utilisées sont $(4\times 4\times 16)$ cm³ pour les essais suivants :

- Ø Détermination la densité ;
- Ø Absorption de l'eau ;
- Ø La résistance à la flexion ;
- Ø La résistance à la compression ;
- Ø Les essais de durabilité (gel-dégel ; flexion ; compression ; effet de température).

V- Procédures des essais

On peut distinguer deux types des essais pour caractériser nos mortiers :

- Ø Les essais à l'état durci à courte terme pour choisir le pourcentage et longueur optimales pour la composition de mortier de plâtre fibré.
- Ø Les essais à l'état durci à long terme, pour étudier la durabilité de mortier de plâtre fibré.

Chaque essai est réalisé sur six éprouvettes de la même composition, et la valeur moyenne des six essais a été prise comme valeur caractéristique.

V.1- Détermination de la masse volumique

La masse volumique du mortier durci ρ est déterminée, pour les différents mortiers confectionnés, conformément à la norme européenne **NF EN 12390 -7** [42].

- Peser la masse d'une éprouvette durcie **M**. pour notre cas, on utilise des éprouvettes (4x4x16) cm³.
- La masse volumique est obtenue en divisant la masse par le volume correspondant aux dimensions de fabrication. La masse volumique du mortier durci ρ sera :

$$\rho = \frac{M}{V} \dots \dots \dots [\text{Kg /cm}^3].$$

V.2- Essais d'absorption d'eau par immersion

Cet essai a été effectué afin d'avoir une idée sur la porosité interne du matériau, rappelons que l'essai consiste à mettre les éprouvettes du mortier dans l'étuve et de les poser jusqu'à un poids constant, ensuite les immerger totalement dans l'eau à 20°C pendant une durée de 24h (c'est-à-dire jusqu'à saturation du matériau) afin de calculer le volume des vides du mortier. Le coefficient d'absorption par immersion **W** est donné par la relation suivante :

$$W = \frac{M_h \times M_s}{M_s} \times 100 \dots \dots \dots [\%].$$

Avec :

M_h : poids du matériau humide.

M_s : poids du matériau sec.

V.3- Essais gel-dégel

Il existe un certain nombre de protocoles d'essais pour tester la durabilité d'un mortier au gel-dégel. Ces procédures varient d'un pays à l'autre selon la sévérité du climat.

On distingue trois types d'essais de gel-dégel selon les conditions suivantes [42] :

- Gel faible : deux jours par an au maximum ayant atteint une température inférieure à -5 °C.
- Gel sévère : plus de dix jours par an ayant atteint une température inférieure à -10 °C.
- Gel modéré : entre gel faible et gel sévère.

Il existe deux procédures d'essais de gel sur le mortier durci : la norme **NF P18-424 [42]** (gel sévère), **NF P18-425 [42]** (gel modéré) reprend, en partie, la procédure de l'essai **ASTM C666**. Les essais consistent à soumettre des éprouvettes prismatiques soit à des cycles de gel dans l'eau et dégel dans l'eau (gel sévère) soit à des cycles de gel dans l'air et dégel dans l'eau (gel modéré). Dans notre cas, et selon la classification citée ci-dessus, le type de gel qui caractérise les conditions climatiques locales est le " gel faible ".

L'essai est basé sur le cycle de gel-dégel et permet d'estimer d'une manière raisonnable et satisfaisante le comportement en service d'un mélange du mortier de fibres. L'essai comprend essentiellement quinze cycles de vieillissement accéléré où chacun est caractérisé par quatre heures de gel (-5 °C) suivi par immersion totale dans l'eau à une température de 23°C jusqu'au dégel complet (quatre heures environ), ont commencé, à 28 jours, les éprouvettes utilisées sont (4x4x16) cm³.

- Gel : gel à une température -5 °C pendant 4 heures.
- Dégel : immersion totale à une température 23 °C pendant 4 heures.

V.4- Essais de résistances mécaniques

Pour les essais mécaniques de compression et de flexion nous utilisons la même méthode décrite dans le **chapitre III**.

VI- Méthode de travail

L'objectif principal de cette étude est de trouver la composition de base de mortier de plâtre renforcé par fibres, ce qui permet d'obtenir les exigences de base pour un mortier normal, que ce soit dans l'état frais ou à court ou à long terme .

Dans notre recherche, nous allons prendre la composition de base de mortier, que nous avons trouvé dans les chapitres précédents. Le dilemme reste de savoir comment amener les fibres dans le mortier, sorte que cette ajout, contribue à l'amélioration des propriétés physiques et mécaniques de mortier, que ce soit dans l'état de frais ou l'état durci, et dans le court terme et à long terme. Les facteurs les plus importants qui peuvent jouer un rôle important dans l'amélioration des propriétés de mortier renforcé de fibres sont les suivants:

- La longueur des fibres ;
- Proportion des fibres dans le mortier ;
- Orientation des fibres ;
- La nature des fibres.

Après avoir atteint le mélange idéal, nous menons les essais de durabilité.

VII- Etude de la composition de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier

L'absence d'une méthode normalisée pour la préparation d'un bon mortier de plâtre renforcé par fibre végétale. Nous oblige à la recherche de recommandations les plus importantes prises par des recherches similaires, puisque nous ferons plusieurs essais afin d'atteindre le mortier idéal. Sur la base des résultats obtenus dans le chapitre précédent, et les recommandations de **C.N.E.R.I.B [5]**.

Pour obtenir une bonne composition de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmiers dattier, nous suivons les étapes suivantes:

- Ø Tout d'abord, nous utilisons la même composition de pate de base de mortier de plâtre, qui nous avons obtenue dans le **chapitre III**, ce qui est comme suit :
 - $E/(P+S) = 0,60$;
 - $P/S = 0,50$;
 - On ajoute 6% de la chaux aérienne comme retardateur de prise.
- Ø En ce qui concerne les fibres nous avons essayé de déterminer,
 - Tout d'abord la fraction massique optimale des fibres à introduire dans le mortier de plâtre en utilisant les fibres du palmier dattier d'une longueur constante $L=10\text{mm}$ et en augmentant le dosage de fibre de 0% à 2% avec un pas de 0,5% en masse.
 - Et en suite, la longueur optimale pour la fraction optimale qui nous avons trouvé précédent pour chaque longueur, 10 mm, 20mm, 30 mm, et 40 mm.

Pendant tous les essais, que nous effectuons, il faut garder bien la maniabilité de pate en cour de prise. Car l'ajout de fibres végétales à une matrice minérale conduit à une diminution de sa maniabilité [22],[23].

Tout les éprouvettes sont conservé à l'air ambient du laboratoire jusqu'à l'âge de 14 jours.

VII.1- Variation des propriétés physiques et mécaniques du mortier de plâtre renforcé par des fibres de longueur de 10 mm avec des différents pourcentages

Les résultats de la Variation des propriétés physiques et mécaniques du mortier de plâtre renforcé par différentes dosage de fibre sont présentés dans le **Tableau IV.1**.

Tableau IV.1 : Variation des propriétés physiques et mécaniques du mortier de plâtre renforcé par différentes dosage de fibre				
Pourcentage de fibre (% en masse)	Résistance à la flexion Rf en (Mpa)	Résistance à la compression Rc (Mpa)	Densité d	Absorption d'eau W en(%)
0%	3,10±1,34	10,40±1,56	1,46±0,12	48,00±1,72
0,50%	3,72±1,02	10,60±1,42	1,44±0,14	56,00±1,09
1%	4,23±1,04	11,33±1,05	1,42±0,82	59,00±0,89
1,5%	5,10±1,65	13,27±1,20	1,37±0,62	61,00±1,54
2%	3,90±1,22	10,64±1,76	1,35±0,42	65,00±1,02

La première propriété qui nous pouvons contrôler, c'est la maniabilité de mortier. On voit clairement que, la maniabilité décroît avec l'augmentation de dosage des fibres. Ce point a été mentionné dans les recherches [22] et [23], et aussi observé pendant le malaxage des mélanges de notre mortier. Ce qui peut être expliqué par le fait que les fibres jouent le même rôle que les gros granulats par simulation d'un béton courant.

Durant la mise en oeuvre des mortiers. On remarque que, pour les pourcentages de 0% à 1,5% des fibres, les mortiers correspondants ont une bonne maniabilité, et pour le pourcentage 2% le mortier correspondant a une maniabilité difficile.

1.1- La densité

La **Figure IV.1** montre la variation de la densité de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction du pourcentage en masse de fibres.

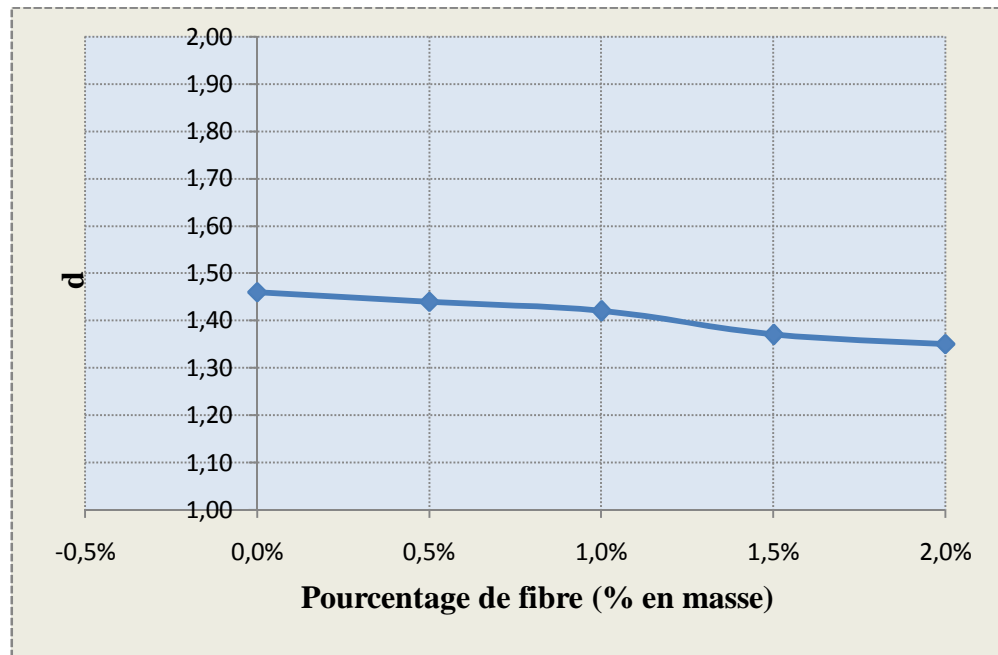


Figure IV.1: Variation de la densité de mortier de plâtre en fonction du pourcentage en masse de fibres.

D'après la **Figure IV.1**, on remarque que la densité décroît légèrement avec l'augmentation du dosage en fibres, ce qui peut être expliqué par l'augmentation du volume de vide créé par l'incorporation des fibres d'où l'obtention d'un mortier de plâtre moins dense. Ce résultat est en accord avec les recherches de **DJOUDI [4]**.

1.2- L'absorption d'eau

La **Figure IV.2** montre la variation de l'absorption de l'eau de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction du pourcentage en masse de fibres.

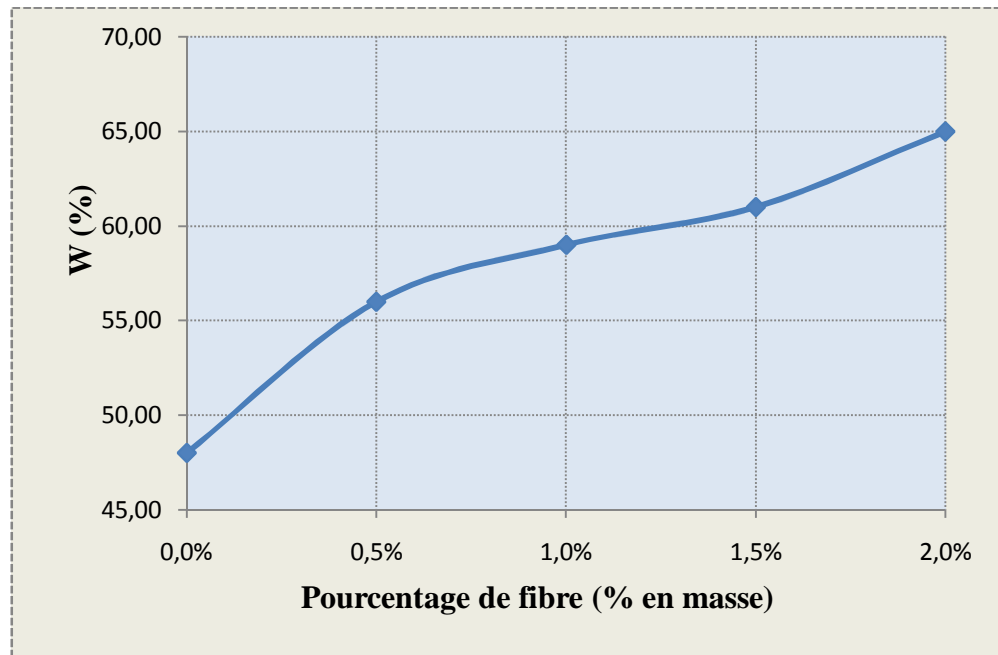


Figure IV.2: Variation de l'absorption de l'eau de mortier de plâtre en fonction du pourcentage en masse de fibres.

La **Figure IV.2** illustre l'évolution d'absorption d'eau pour un mortier de plâtre renforcé par des fibres de palmier dattier, il est nettement et visible que l'absorption de l'eau augmente en fonction de l'augmentation du pourcentage des fibres végétale, cela est due au volume de vide élevé créé par l'ajout des fibres et par la nature des fibres elles même.

Ces résultats correspondent aux résultats obtenus par **DJOUDI [4]** dans ses recherches sur le béton de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier, il a été constaté que l'incorporation des fibres augmente l'absorption d'eau de béton de plâtre.

1.3- La résistance à la compression

La **Figure IV.3** montre la variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction du pourcentage en masse de fibres.

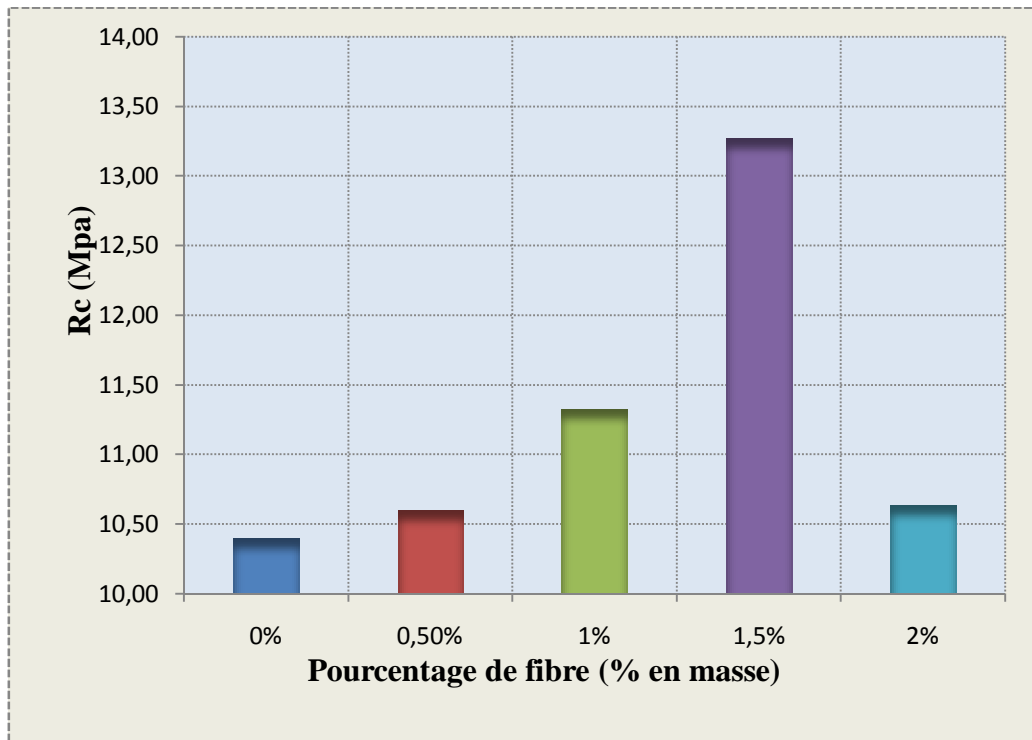


Figure IV.3: Variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre en fonction du pourcentage en masse de fibres.

D'après la **Figure IV.3**, on peut remarquer que entre 0% et 1% une légère augmentation de la résistance à la compression, puis au pourcentage 1,5% une augmentation aigue dans la résistance à la compression et après cette pourcentage on constate une chute dans la résistance à la compression.

L'augmentation dans la résistance à la compression de mortier de plâtre renforcé par fibre de palmier dattier, par rapport le mortier non fibré, peut être expliqué que les fibres dans cette pourcentage jouent un rôle des agrégat gros dans le béton ordinaire, et la chute qui apparait après cette augmentation, on peut juger que l'ajout de fibre perturbe le squelette minéral de mortier en créant de vides à l'intérieur de la pate et en augmentant sa porosité, d'où une résistance minimale. Ces constatations sont en accord avec la plupart des recherches effectuées, tel que **KRIKER et al. [22]**, dans sons recherches sur le béton renforcé par fibres de palmier dattier.

1.4- La résistance à la flexion

La **Figure IV.4** montre la variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction du pourcentage en masse de fibres.

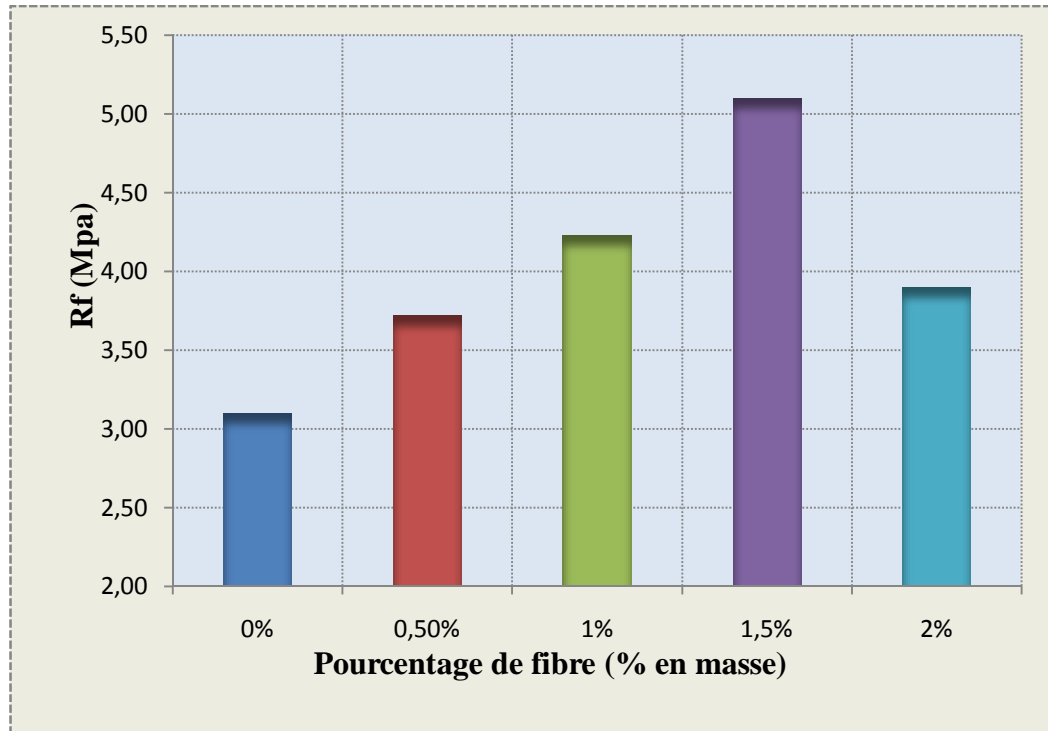


Figure IV.4: Variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre en fonction du pourcentage en masse de fibres.

La **Figure IV.4** montre, que la résistance à la flexion croît avec l'augmentation du dosage en fibres, elle atteint une valeur maximale pour le pourcentage de 1,5% de fibres. Au-delà de ce pourcentage, elle chute et cela est dû à la mauvaise répartition des fibres dans la pate à cause d'un excès de fibres. C'est la même interprétation révéler par [29] dans sa recherche sur le plâtre renforcé par les fibres de sisal. On peut aussi dire que, il ya de possibilité de voire le phénomène de glissement des fibres entre eux en cour de cette essai.

1.5- Récapitulation

Sur la base des résultats des essais précédents, nous pouvons déterminer une proportion idéale, qui a atteint les meilleures propriétés physiques et mécaniques.

Un examen rapide des courbes précédentes, nous constatons que le pourcentage de 1,5% donne les meilleurs résultats de point de vue de résistance à la compression et à la flexion, Ainsi que l'absorption d'eau et la densité. et ce qui concerne la maniabilité du mortier de plâtre, ce pourcentage donne une bonne maniabilité et une mise en ouvre facile.

VII.2- Variation des propriétés physiques et mécaniques du mortier de plâtre renforcé par différentes longueurs des fibres pour un pourcentage de 1,5% de fibres

Les résultats de la Variation des propriétés physiques et mécaniques du mortier de plâtre renforcé par différentes longueurs des fibres sont présentés dans le **Tableau IV.2**.

Tableau IV.2 : Variation des propriétés physiques et mécaniques du mortier de plâtre renforcé par différentes longueurs de fibres				
Longueur de fibre L en (mm)	Résistance à la flexion Rf en (Mpa)	Résistance à la compression Rc (Mpa)	Densité d	Absorption d'eau W en(%)
10	5,10±1,22	13,27±0,92	1,37±0,12	61,00±1,11
20	5,74±1,13	13,68±1,52	1,30±0,35	63,00±1,04
30	4,45±1,37	10,17±1,81	1,19±0,44	64,00±0,97
40	3,82±1,01	10,31±1,02	1,08±0,75	67,00±1,77

La première propriété qui peut être observée lors de la préparation des échantillons de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmiers dattiers, c'est la maniabilité. Nous notons que la maniabilité décroît rapidement avec l'augmentation de la longueur de fibres, cela est dû au fait que les fibres, avec des longueurs importantes, ont une plus grande tendance à s'enchevêtrer, d'où une maniabilité faible, Ce résultat est en accord avec les résultats des recherches de [22] et [4].

Nous notons également que la maniabilité serait acceptable dans les mortiers qui ont une longueur de fibre comprise entre 10 mm et 20 mm, mais pour les mortiers avec une longueur de fibre de 30 mm et 40 mm, la maniabilité devient très faible.

2.1- La densité

La **Figure IV.5** montre la variation de la densité de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction des longueurs des fibres.

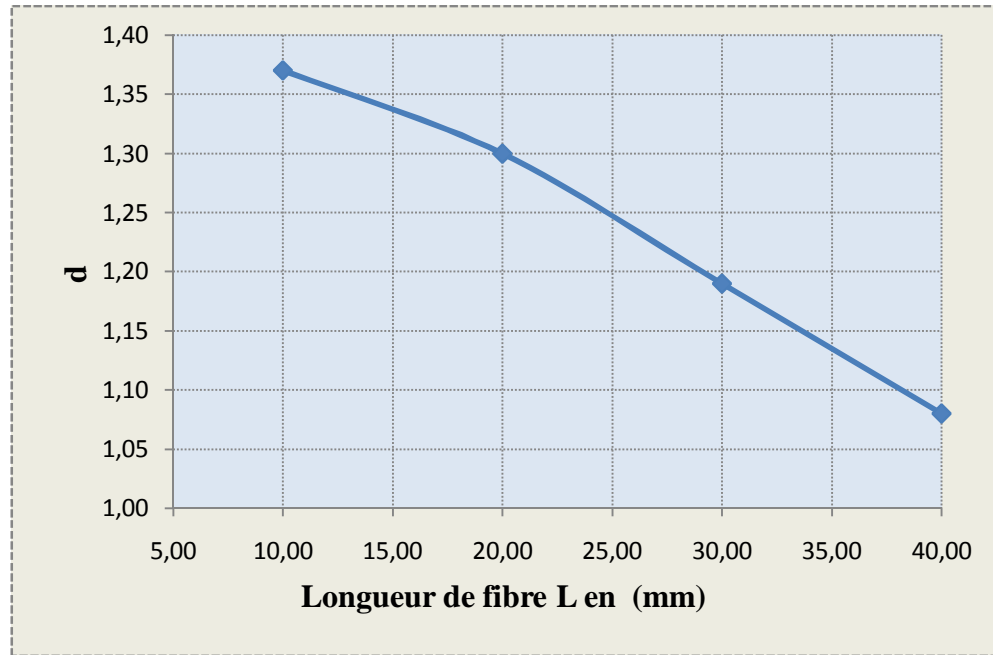


Figure IV.5: Variation de la densité de mortier de plâtre en fonction de différentes longueurs de fibres.

La **Figure IV.5** montre, que la densité décroît rapidement avec l'augmentation de la longueur de fibres, cela est due au fait que l'incorporation des fibres dans la pate entraine des vides à l'intérieur de la pate et le pourcentage des vides est d'autant important pour de longueurs importante de fibres. La plupart, des recherches des littératures révèlent cette observation.

2.2- L'absorption d'eau

La **Figure IV.6** montre la variation de l'absorption d'eau de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction des longueurs des fibres.

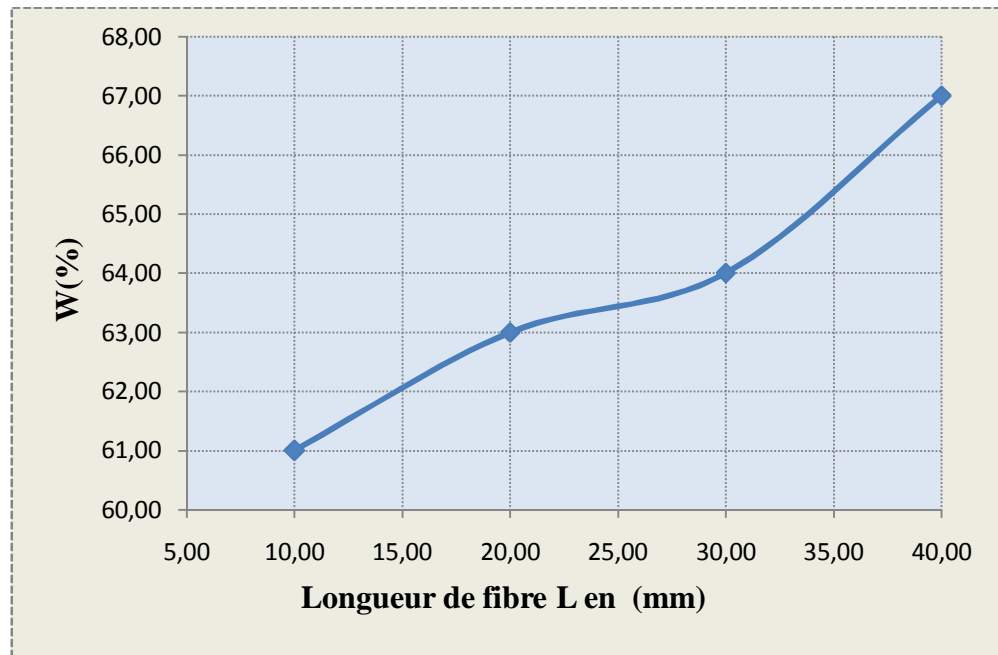


Figure IV.6: Variation de l'absorption d'eau de mortier de plâtre en fonction de différentes longueurs de fibres.

D'après la **Figure IV.6**, on remarque que l'absorption d'eau de mortier croît avec l'augmentation des longueurs des fibres, elle est importante pour de grandes longueurs, cela est dû au volume de vide élevé créé par l'ajout des fibres d'où une absorption d'eau maximale.

D'après [44], le pourcentage d'absorption d'eau après 24 heures d'immersion est de l'ordre de 6,59 % pour le béton ordinaire, et accroît pour les bétons de fibres en fonction du dosage et de longueur arrivant à (6,64 - 6,76%) pour le béton qui contient de 0,5 à 1% de fibres courtes, (6,70 - 6,86%) pour le béton qui contient de 0,5 à 1% de fibres longues.

2.3- La résistance à la compression

La **Figure IV.7** montre la variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction des longueurs des fibres.

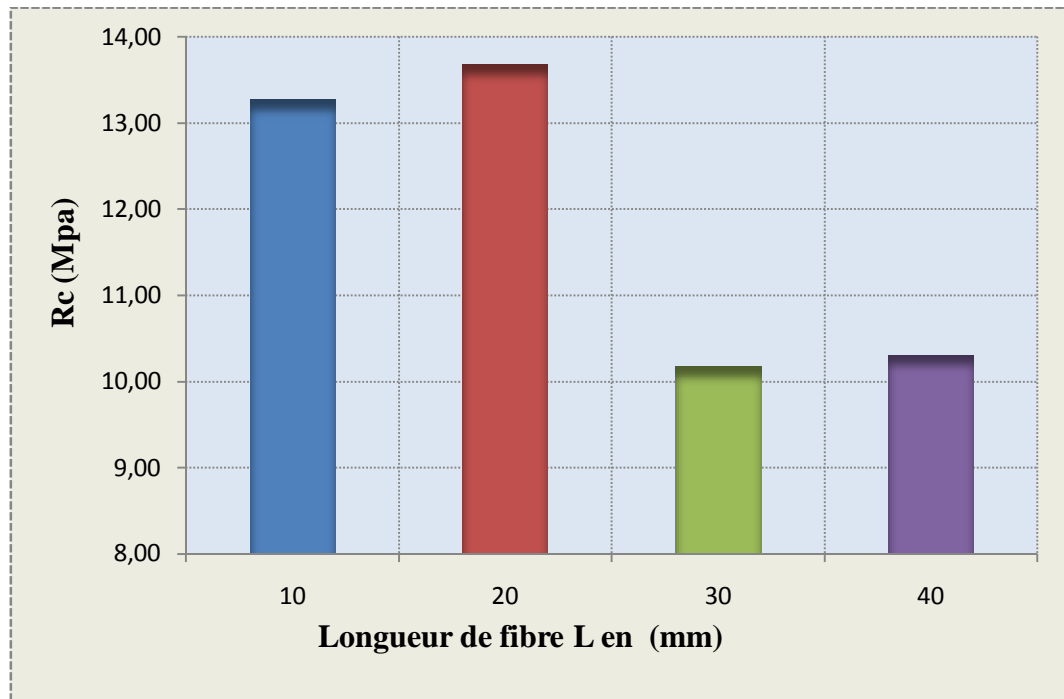


Figure IV.7: Variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre en fonction de différentes longueurs de fibres.

On remarque, d'après la **Figure IV.7**, que l'augmentation de la longueur de la fibre renforçant ne développe pas d'une manière remarquable la résistance à la compression de mortier, ce qui a été constaté d'après les résultats obtenus. Pour notre mortier il y a une légère amélioration dans la résistance à la compression à partir des fibres de longueur de 10 mm, et elle atteint un maximum pour des fibres de longueur de 20 mm, puis il y a une diminution lente pour les fibres de longueurs 30 mm et 40 mm. Cette constatation est due à l'influence de la longueur des fibres sur la maniabilité par leurs enchevêtrements.

Les différents chercheurs sont d'accord pour dire que les fibres n'apportent pas d'amélioration appréciable en compression. Dans certains cas, on a une légère augmentation, dans d'autres une légère diminution. Cette diminution peut être causée par une mauvaise compacité due à un excès de fibres, ou à une mauvaise composition. Par exemple **DJOUDI [4]** a trouvé que l'incorporation des fibres de palmier dattier dans le béton de plâtre apporte une légère amélioration lorsque le pourcentage de fibres est faible et une diminution pour les pourcentages supérieurs.

2.4- La résistance à la flexion

La **Figure IV.8** montre la variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction des longueurs des fibres.

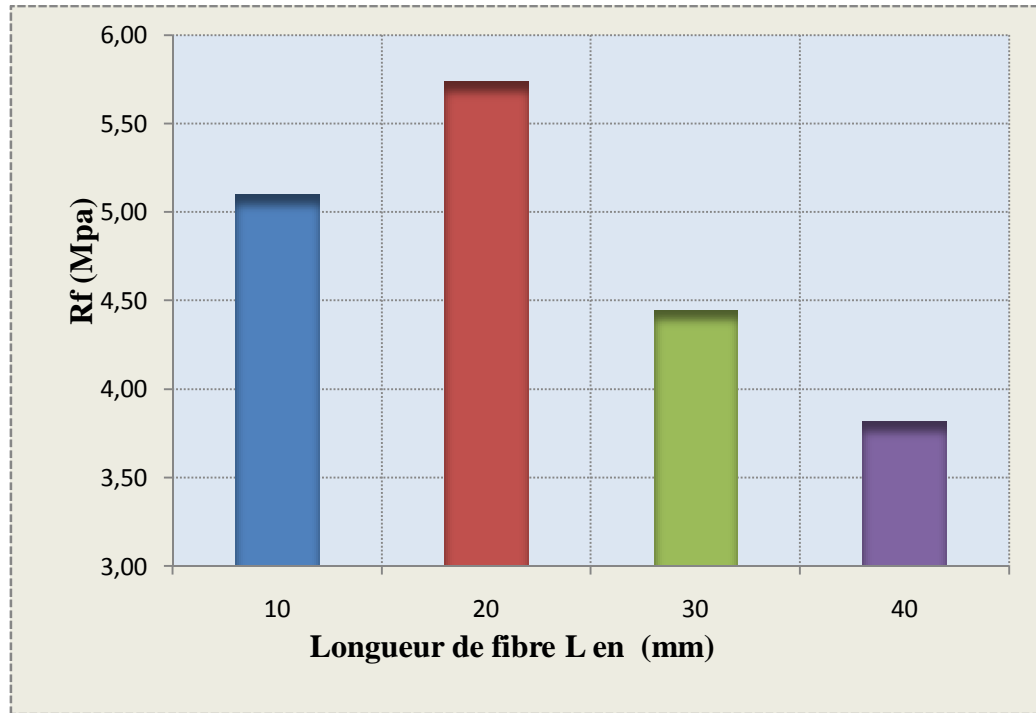


Figure IV.8: Variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre en fonction de différentes longueurs de fibres.

La **Figure IV.8** montre l'influence de la longueur des fibres sur la résistance à la flexion de mortier fibré. Tout d'abord, on remarque clairement que la résistance à la flexion augmente considérablement avec toutes les longueurs des fibres. Une nette amélioration pour les fibres de longueurs de 10 mm et la résistance atteint le maximum pour les longueurs de 20 mm. Après, une diminution dans la résistance pour les longueurs 30 mm et 40 mm, ce qui peut être traduit toujours par la perte de maniabilité qui est due à un excès de fibres et une mauvaise répartition des fibres dans la pâte augmentant la porosité et par conséquent une diminution de la résistance à la flexion.

Par simulation, nous constatons que le mortier de plâtre a les mêmes propriétés du mortier de ciment. Qui apparaît dans la recherche de [45] sur le mortier de ciment renforcé par copeau de bois. Il a été constaté que, pour un mortier à 2% avait une résistance à la flexion que de 3/10 du mortier témoin c'est à dire trois fois plus.

2.5- Récapitulation

Après les expériences précédentes, nous pouvons noter que la longueur des fibres influe sur les propriétés physiques et mécaniques du mélange, que ce soit dans l'état frais ou solide.

Les fibres de longueur 20 mm donnent les meilleurs de résultats de résistance à la compression et à la flexion. En tant ces fibres donnent des résultats acceptables dans la densité et l'absorption de l'eau. Quant à la maniabilité, les mortiers renforcé par les fibres de longueur de 20 mm présentent une bonne maniabilité et facilite la mise en ouvre.

VIII- La composition optimale de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier

Après toutes ces essais antérieurs que nous avons eus. Nous pouvons dire que nous avons atteint une composition optimale pour un mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier, qui répondent aux différentes caractéristiques mécaniques et physiques et les exigences nécessaires pour un matériau de construction, tel que ; la maniabilité, la résistance à la compression et à la flexion, l'absorption d'eau et densité.

Notre composition de mortier de plâtre renforcé par fibre, Sur laquelle qui nous avons effectué les essais de durabilité, sera comme suit :

- Ø On prend le rapport $E/(P+S) = 0,6$;
- Ø Le rapport de S/P est fixé à la valeur 0,5 ;
- Ø On ajoute 6% de la chaux aérienne comme retardateur de prise.
- Ø Pour les fibres : on prend des fibres des longueurs $L = 20$ mm et un pourcentage en masse égale à 1,5%.

IX- Durabilité de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier

La synthèse bibliographique réalisée au **chapitre II** a mis en évidence qu'en général il n'y a pas un problème de durabilité des fibres végétales dans la matrice de plâtre, nous concentrerons principalement sur l'aspect des effets d'évaluation de temps, l'effet de cure et l'effet de gel-dégel sur les propriétés mécaniques de mortier de plâtre.

Donc, nous effectuons ces essais sur les échantillons de mortier de plâtre renforcé par fibres végétale de composition optimale.

IX.1- la variation de la résistance à la compression et à la flexion en fonction du temps

Dans cette phase ; nous allons examiner l'influence d'évaluation du temps, sur les propriétés mécanique de mortier de plâtre renforcé par des fibres de palmier dattier, et cela par la réalisation des essais sur des échantillons conservé dans l'aire libre de laboratoire. Pour surveiller l'évaluation des résistances mécaniques dans le temps, on a utilisé les périodes :

7 j, 14 j, 28j, 56 j, et 90 j. Les résultats obtenus sont présentés sur le **Tableau IV.3**.

Tableau IV.3 : la variation de la résistance à la compression et à la flexion en fonction de temps(j)					
Age (jours)	7	14	28	56	90
Rc (kg/cm ²)	8,39±1,42	13,78±1,52	13,86±0,91	14,01±1,52	14,13±1,84
Rf (kg/cm ²)	4,88±1,07	5,74±1,13	5,83±1,02	5,86±1,77	5,89±1,67

Nous notons clairement que les deux propriétés soit la résistance à la flexion ou la résistance à la compression, sont augmentés en fonction d'évaluation temps.

1.1- La résistance à la compression

La **Figure IV.9** montre la variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction de temps.

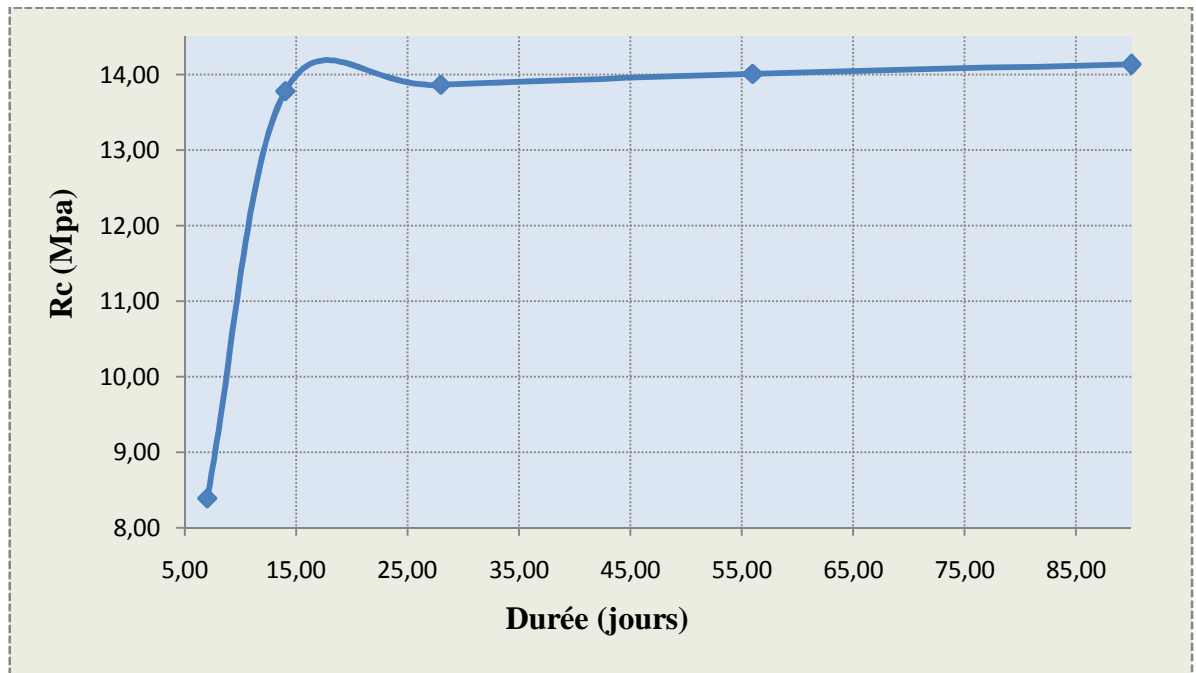


Figure IV.9 : variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction de temps.

progressivement en fonction du temps. Ceci peut s'expliquer par le développement du phénomène du durcissement en fonction de temps.

On remarque que, il ya une nette amélioration dans la résistance à la compression, est obtenue entre 7 jours et 14 jours, puis une léger augmentation entre 14 jours et 28 jours, après quoi, la résistance croît sensiblement avec le temps jusqu'à atteint leur valeur maximale à l'âge de 90 jours.

Ces résultats sont à l'opposé de ce qui a été trouvé par **MOKHTARI [18]**, dans sa recherche sur le mortier de ciment renforcé par des fibres de palmier dattier, il a trouvé, qu'entre de 28 jours jusqu'à 90 jours, tous les mortiers présentent une évolution positive de la résistance à la compression. Le mortier sans fibres reste le plus résistant. Après 90 jours, il remarque qu'il y a eu une chute de résistance à la compression pour tous les mortiers de fibres. Cela est probablement dû à la chute de durabilité des fibres dans la matrice cimentaire (milieu alcalin) et à l'extension des micros fissures entre la fibre-matrice, à cause des conditions climatiques chaudes et sèches. Par contre, le mortier classique a gardé sa résistance à 90 jours presque constante.

En conséquence, nous concluons que, le problème de chute de durabilité soit des fibres de palmier ou de l'ensemble fibre-pâte de mortier de plâtre, n'est pas existé dans les conditions de conservation normales.

1.2- La résistance à la flexion

La **Figure IV.10** montre la variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction de temps.

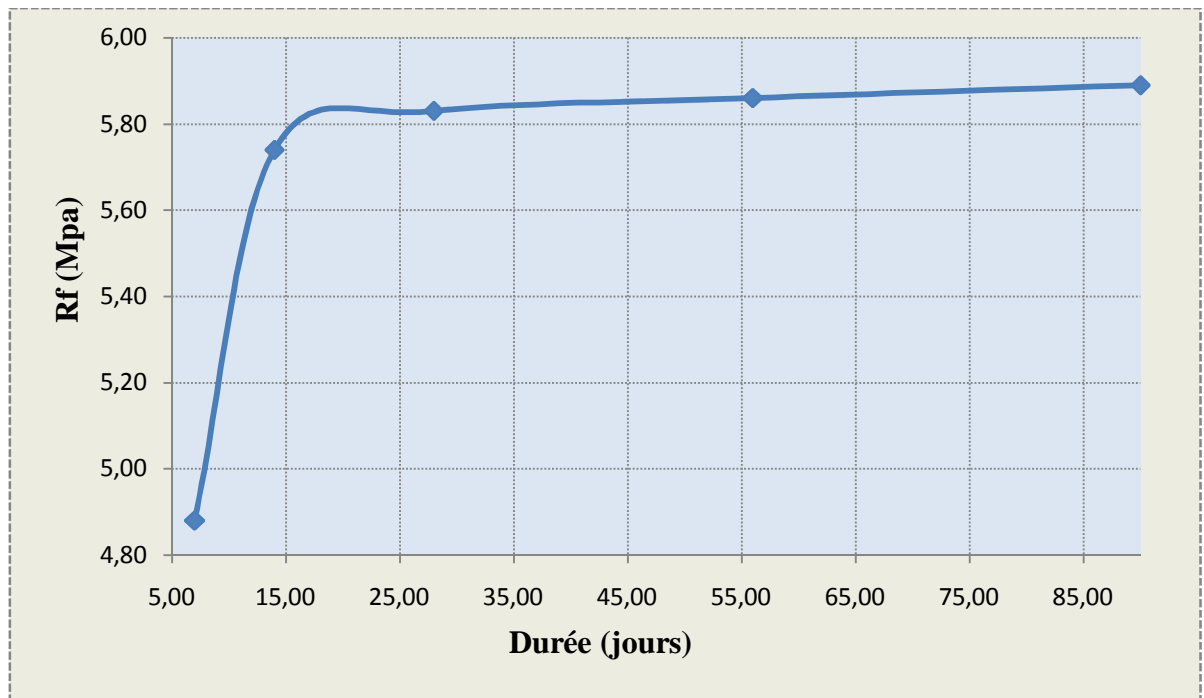


Figure IV.10 : variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction de temps.

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

En fait, la **Figure IV.10**, valide le paragraphe précédemment, et montre que, la résistance à la flexion augmente progressivement en fonction du temps. Ceci peut s'expliquer par, le développement du phénomène du durcissement et l'augmentation de l'adhérence entre fibre-pâte en fonction du temps.

Nous remarquons qu'il ya une progression positive de la résistance à la flexion de mortier de plâtre à base de sable de dunes renforcé par fibres de palmier dattier en fonction du temps.

D'après les recherches de **MOKHTARI [18]**, sur le mortier de ciment renforcé par les fibres de palmier dattier, il a trouvé que, pendant la période de 28 à 90 jours tous les mortiers étudiés présentent une progression positive dans la résistance. Mais au delà de 90 jours, il a enregistré une chute dans la résistance à la flexion de tous les mortiers de fibres. Cela peut être interprété par la chute de la durabilité des fibres dans la matrice cimentaire à base de CPJ, aussi à la chute d'adhérence entre la fibre-matrice.

Donc, dans la matrice de mortier de plâtre à base de sable de dunes, le problème de durabilité des fibres n'est pas rencontrer. C'est un résultat très favorable pour le renforcement des plâtres par les fibres de palmier dattier.

IX.2- L'effet de gel-dégel sur les propriétés mécaniques de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier

Les conditions climatiques ont un impact direct sur les propriétés physiques et mécaniques des matériaux de construction. Parmi ces facteurs climatiques, le phénomène de gel-dégel. Afin d'étudier l'effet de ce phénomène sur le mortier de plâtre renforcé par des fibres de palmier dattier, nous avons mené des essais sur des éprouvettes de notre mortier à l'âge de 90 jours. Les résultats sont présentés à le **Tableau IV.4** :

Tableau IV.4 : la variation des propriétés mécaniques en fonction des cycles de gel-dégel		
Nombre des cycles (N)	Résistance à la flexion Rf en (Mpa)	Résistance à la compression Rc en (Mpa)
Avant gel-dégel	5,83±1,02	13,86±0,91
5	4,86±1,32	12,21±1,13
10	2,23±1,03	11,37±1,02
15	1,48±1,34	10,34±1,01

A partir le **Tableau IV.4**, nous notons que le phénomène de gel-dégel affecte négativement sur les propriétés mécaniques de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier, puisque, on constate une diminution dans les résistances mécaniques, après les essais de gel-dégel.

2.1- La résistance à la compression

La **Figure IV.11** montre la variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction des cycles de gel-dégel.

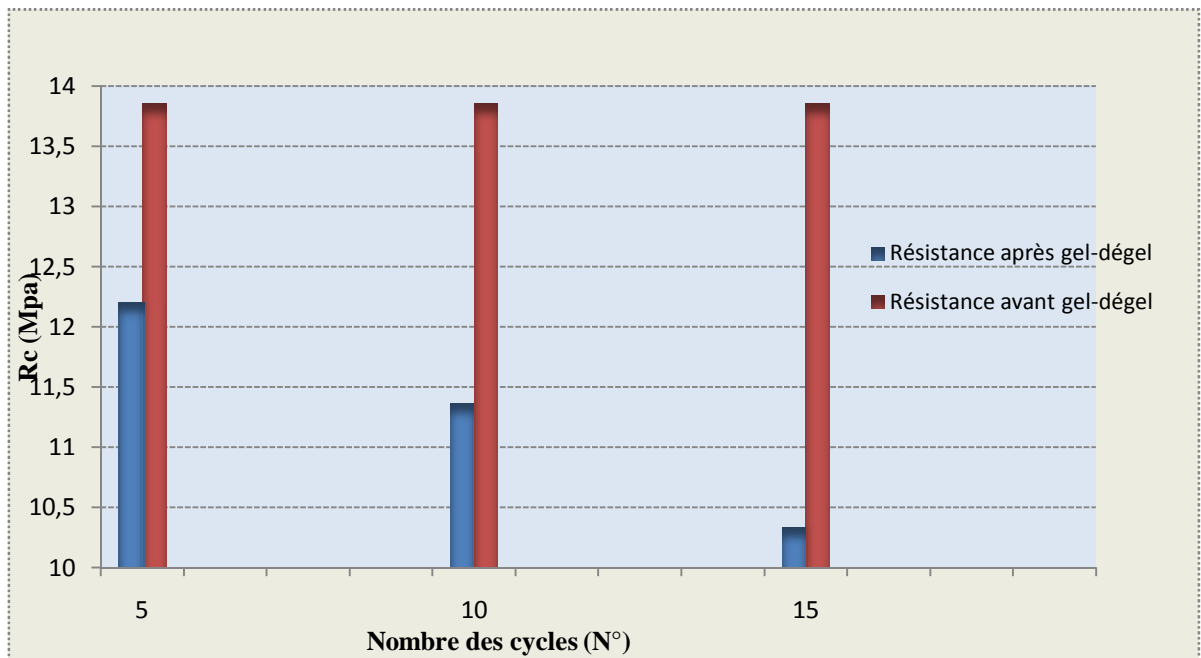


Figure IV.11 : variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction des cycles de gel-dégel.

D'après la **Figure IV.11**, nous constatons qu'il ya une chute de la résistance à la compression de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier avec l'augmentation du nombre de cycles, et aussi le taux de chute augmente avec l'augmentation du nombre de cycles de gel-dégel. Nous remarquons que, Pendant les cinq premières cycles, il ya une diminution dans la résistance d'ordre de 12 % par rapport au mortier conservé dans les conditions normale, et de 18 % après dix cycles, et après quinze cycles présente une chute à l'ordre de 70 %.

Cet effet peut être attribué au l'ajout de fibres végétales dans le mortier de plâtre qui crée des pores aléatoires et irrégulières au sein de la pâte, ces pores sont remplie d'eau absorbé au moment d'essai, ceci est influencé sur la dégradation interne du matrice de mortier de plâtre par l'effet de cycles gel-dégel.

Ces mêmes observations, sont trouvées par **Mohamed [46]** dans sa recherche sur le béton auto plaçant renforcé par des microfibrilles végétales, il a constaté que, le béton auto plaçant sans fibre résiste plus que le béton vibré pendant les 150 premiers cycles, le béton vibré résiste mieux pendant les cycles suivants. Par contre, dès le début de test, l'endommagement

du béton auto plaçant fibré, est plus important que celui du béton vibré fibré. De plus il a constaté que les bétons fibrés sont plus sensibles que les bétons sans fibre.

2.2- La résistance à la flexion

La **Figure IV.12** montre la variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction des cycles de gel-dégel.

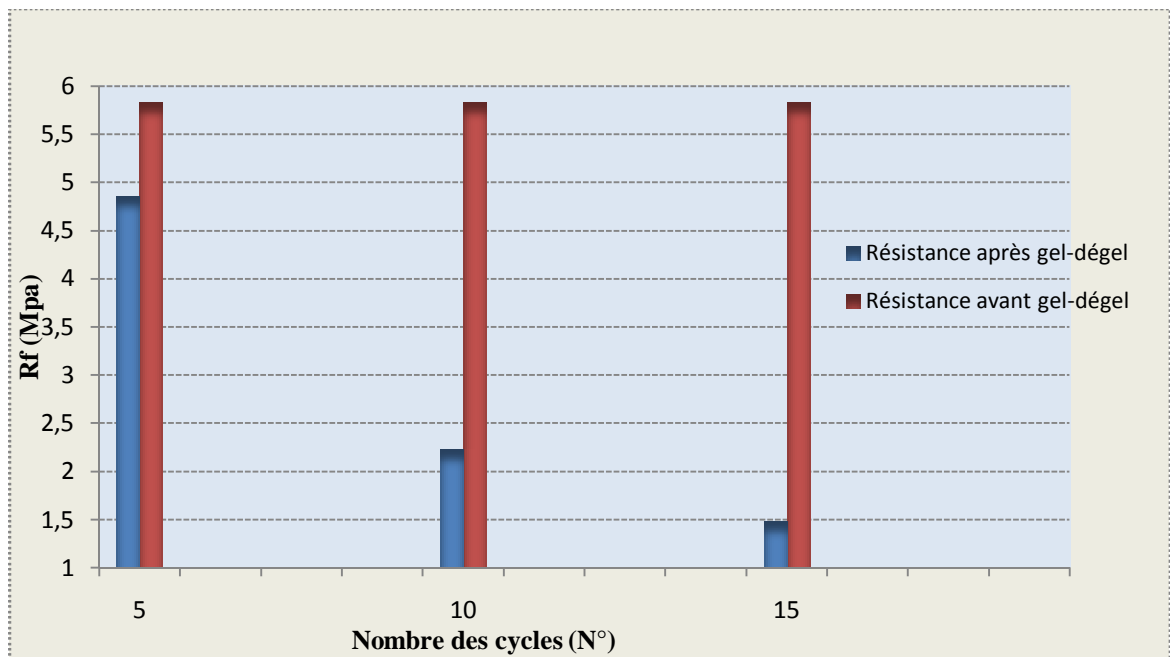


Figure IV.12 : variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction des cycles de gel-dégel.

D'après la **Figure IV.12**, on remarque clairement que l'effet de l'endommagement d'essai gel-dégel sur la résistance à la flexion est plus fort que leur effet sur la résistance à la compression. Nous notons qu'il y a une chute à l'ordre de 17 % sur les éprouvettes de mortier de plâtre renforcé par fibre de palmier dattier soumis à cinq cycles de gel-dégel par rapport au mortier conservé dans les conditions normales, et nous marquons une diminution à l'ordre de 60 % après dix cycles, et après quinze cycles on a une chute de résistance à la flexion à l'ordre de 70 %.

On peut expliquer cette chute dans la résistance à la flexion, que l'ajout des fibres dans la pâte crée des pores dans la pâte, pendant l'essai de gel-dégel l'eau absorbée, peut engendrer des contraintes à l'intérieur de mortier c'est-à-dire l'eau augmente de volume et provoque une

pression hydraulique dans le réseau poreux qui conduit à la dégradation interne et à la diminution d'adhérence fibre-matrice.

D'après **Mohamed [46]**, l'endommagement de béton auto plaçant fibré est plus sensible, avec une variation de 0,4 au bout du 80^{ème} cycle ; pour un béton auto plaçant sans fibre, ce facteur atteint une valeur de 0,4 au 120^{ème} cycle. Il remarque aussi que la diminution de la résistance à la flexion est plus sensible que celle de la résistance à la compression. Le gel interne altère avant tout l'interface pate-microfibre, dont la flexion caractérise l'état d'endommagement plus que la compression.

IX.3- L'effet de séchage sur les propriétés mécaniques de mortier de plâtre renforcé par des fibres de palmier dattier

Le plâtre reste aujourd'hui, parmi les matériaux de construction le plus économique de ce fait le plus utilisé dans le domaine du bâtiment. Il répond aux critères de résistances mécaniques et de durabilité, pour accélérer le processus de durcissement et l'accélération de mise en oeuvre des pièces de plâtre. A cet effet plusieurs solutions sont aujourd'hui employées pour atteindre des résistances élevées au jeune âge (après la prise), à savoir l'utilisation de séchage. L'objectif ici, c'est l'accélération le durcissement de plâtre frais et atteindre des valeurs de résistances mécaniques élevées, dans quelques heures par un processus de séchage.

Pour étudier l'effet de séchage sur les propriétés mécaniques de mortier de plâtre renforcé par des fibres végétales, on a confectionné des éprouvettes de notre mortier et puis séchées à des températures 40 °C, 60 °C et 80 °C pour des périodes de cure 3, 7 et 24 heures, après elles sont soumise à les essais mécaniques.

Le séchage est réalisé dans une étuve de laboratoire durant un temps nécessaire.

Le **Tableau IV.5**, présente l'effet de conditions de cure sur les propriétés mécaniques de notre mortier.

Tableau IV.5 : variation de propriétés mécaniques en fonction du temps de séchage pour différentes température

Température T (°C)	Temps de séchage en (heures)	Résistance à la flexion Rf en (Mpa)	Résistance à la compression Rc en (Mpa)
40	3	1,02±0,02	1,05±0,01
	7	2,23±0,92	4,00±0,02
	24	3,10±0,03	8,12±0,02
60	3	1,60±0,01	1,50±0,02
	7	2,73±0,82	7,78±0,02
	24	4,31±0,03	9,35±0,02
80	3	2,50±0,05	2,22±0,07
	7	3,96±0,80	9,10±0,08
	24	4,91±0,02	11,04±0,03

D'après le **Tableau IV.5**, on remarque que il ya une augmentation progressive dans les résistances mécanique en fonction de l'augmentation de temps de séchage et augmentation du degré de la température.

3.1- La résistance à la flexion

La **Figure IV.13** montre la variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction du temps de séchage pour différentes température.

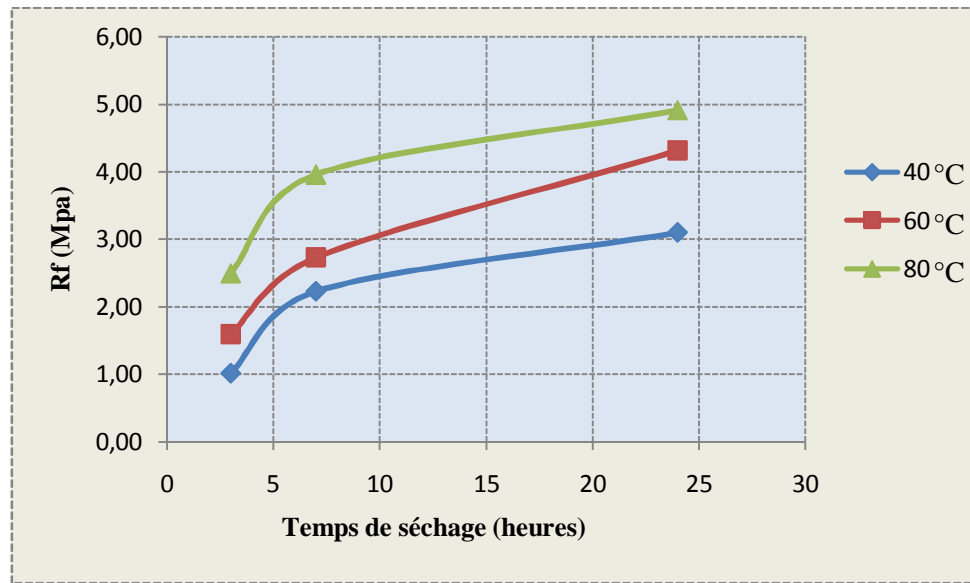


Figure IV.13 : la variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction du temps de séchage pour des différentes températures.

A partir de la **Figure IV.13**, on constate que la résistance à la flexion de notre mortier améliore avec l'augmentation de la température et le temps de séchage.

Nous notons aussi que les deux courbes correspondant à la température de 40 °C et 60 °C, sont presque identiques. Mais la courbe correspondant à une température de 80 °C, son comportement et ses résultats sont différents.

Pour une température de séchage 40 °C ou 60 °C, avec un temps de séchage de 24 heures, donnent une résistance à la flexion plus que le mortier conservé à l'air libre dans l'âge de 7 jours, et pour un temps de séchage de 24 heures dans l'étuve avec une température de séchage 80 °C, nous atteints une résistance à la flexion supérieure à celui pour un mortier conservé dans des conditions normales dans l'âge 14 jours.

On peut expliquer les résultats précédemment que, la température accélère le mécanisme de durcissement de mortier et augmente la liaison fibre-pâte, ce qui résulte une évaluation remarquable dans la résistance à la flexion. Pour les températures 40 °C et 60 °C, on a des résultats moins que la température 80 °C, due à la humidité conservée dans les fibres pour les températures 40 °C et 60 °C qui a un effet défavorable sur la résistance à la flexion.

Les mêmes essais menés par **DJOUDI [4]**, sur sa recherche sur les plaques minces de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier, elle est trouvé que pour une température 80 °C, la résistance à la flexion peut atteindre à 24 heures 98% de la résistance finale du matériau séché à l'air ambiant du laboratoire pendant 14 jours.

3.2- La résistance à la compression

La **Figure IV.14** montre la variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction du temps de séchage pour des différentes températures.

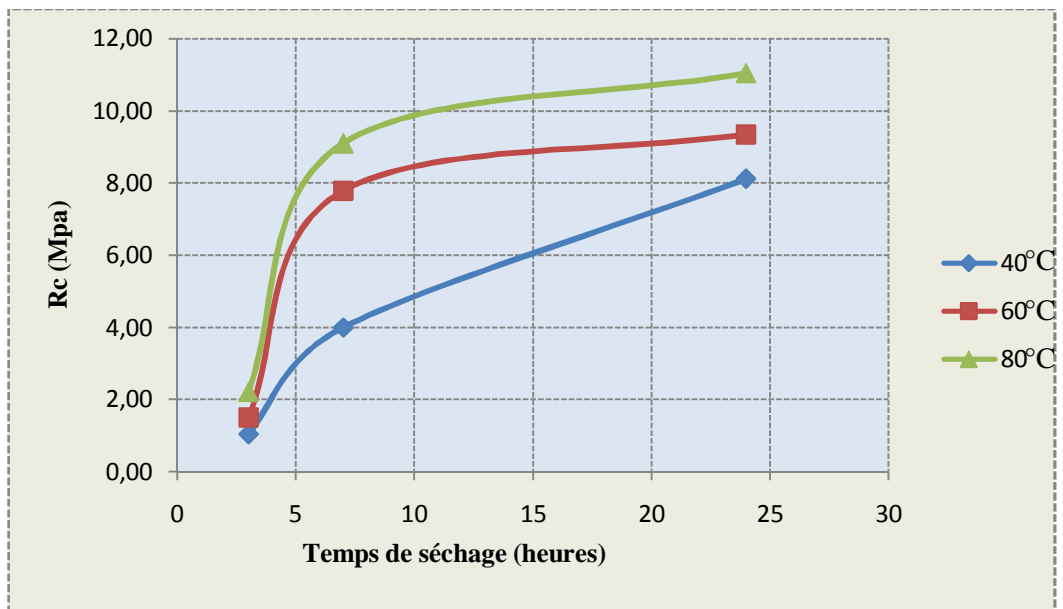


Figure IV.14 : la variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction du temps de séchage pour des différentes températures.

La **Figure IV.14**, montre clairement que, il ya une augmentation remarquable de la résistance à la compression de notre mortier en fonction de l'augmentation de temps et la température de séchage.

Nous notons aussi que, les trois courbes sont presque identiques, et ont la même allure d'évaluation. La résistance à la compression de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier, pour les températures 40 °C, 60 °C, et 80 °C, a des valeurs très proches.

Où nous constatons que, pour une température de 80 °C à un temps de séchage de 24 heures, la résistance à la compression atteint une valeur de 11.04 MPa, ce qui équivaut à 80% de la résistance à la compression à 14 jours d'un mortier conservé dans l'air ambiant du laboratoire. Cela est dû du fait que la chaleur accélère le processus de durcissement.

Au contraire, le béton c'est un matériau très sensible au traitement thermique. Ceci est confirmé par **BOUTIBA [46]**, dans ses recherches sur les procédures de durcissement le béton, il est trouvé que, pour un béton chauffé à 60 °C ou à 80 °C à la vapeur ou sous l'eau chaude avec 11 heures de traitement thermique, atteint les 75% des résistances du béton témoin de 28 jours de durcissement normal. Mais, il remarque une chute dans la résistance mécanique d'un béton traité thermiquement par rapport à un béton ayant durci dans les conditions normales au voisinage de 10%.

3.3- L'effet de traitement thermique sur les propriétés mécaniques de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier à long terme

Pour examiner l'effet de traitement thermique sur les propriétés mécaniques de notre mortier, nous effectuons des essais sur des éprouvettes chauffées à 40 °C, 60 °C et 80 °C avec 24 heures de traitement thermique, et puis conservé à l'air libre de laboratoire jusqu'à l'âge de 28 jours. Les résultats obtenus sont comparées avec un mortier conservé dans des conditions normales à même âge, elles sont illustrées dans le **Tableau IV.6**, la **Figure IV.15** et la **Figure IV.16**.

Tableau IV.6 : la variation de propriétés mécaniques en fonction des différentes températures		
Température T(°C)	Résistance à la flexion Rf en (Mpa)	Résistance à la compression Rc en (Mpa)
Air ambiant	5,83±1,13	13,86±1,52
40	5,45±0,02	14,10±0,01
60	6,11±0,09	14,71±0,07
80	6,55±0,12	15,02±0,15

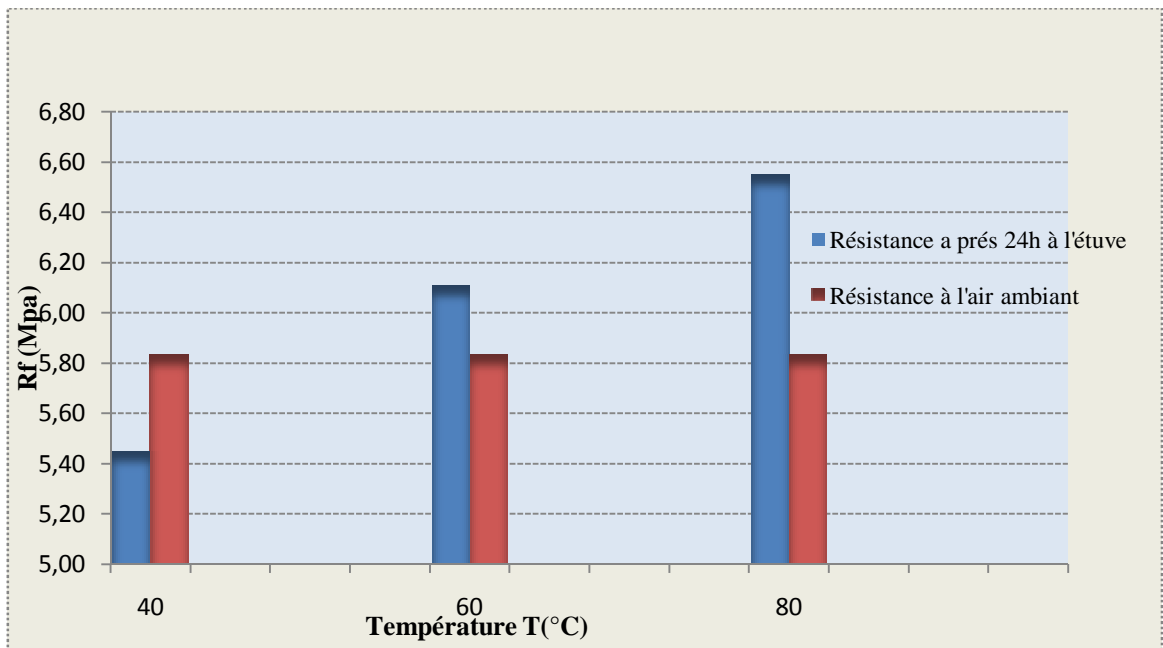


Figure IV.15 : la variation de la résistance à la flexion de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction des différentes températures.

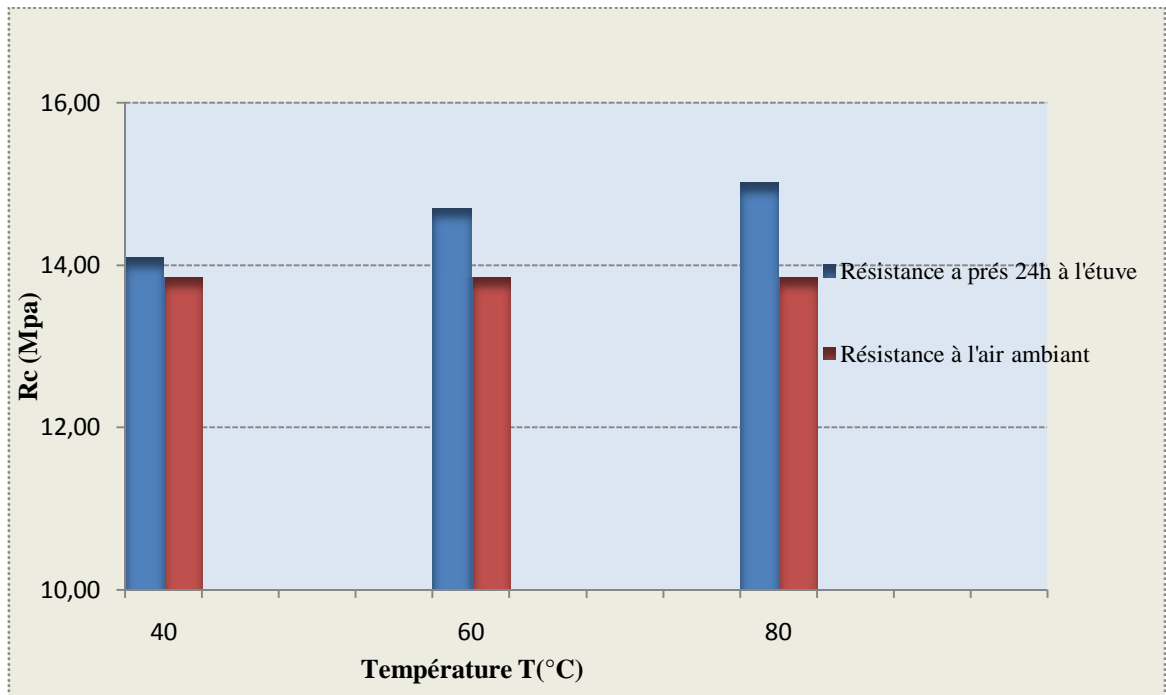


Figure IV.16 : la variation de la résistance à la compression de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier en fonction des différentes températures.

A partir des figures représentées au dessus, nous constatons qu'il ya une amélioration dans les propriétés mécaniques par rapport au mortier conservé dans les conditions normales. Nous voyons clairement, que il ya un gain dans la résistance à la flexion de 1,15 pour un mortier de plâtre chauffé 24 heures dans une température 80 °C et après conservation à l'air libre par rapport à un mortier conservé dans des conditions normales, et pour même température il ya un gain de 1,16 de résistance à la compression.

Cette technique est très importante, elle nous permet de produire des éléments en plâtre, dans un temps très rapide, ont des propriétés mécaniques bien satisfaisantes, ce qui nous permet de les mettre en service. Même dans le plan économique, cette technique est très importante ; et elle nous offre un gain dans le temps c'est-à-dire de l'argent.

X- Conclusion

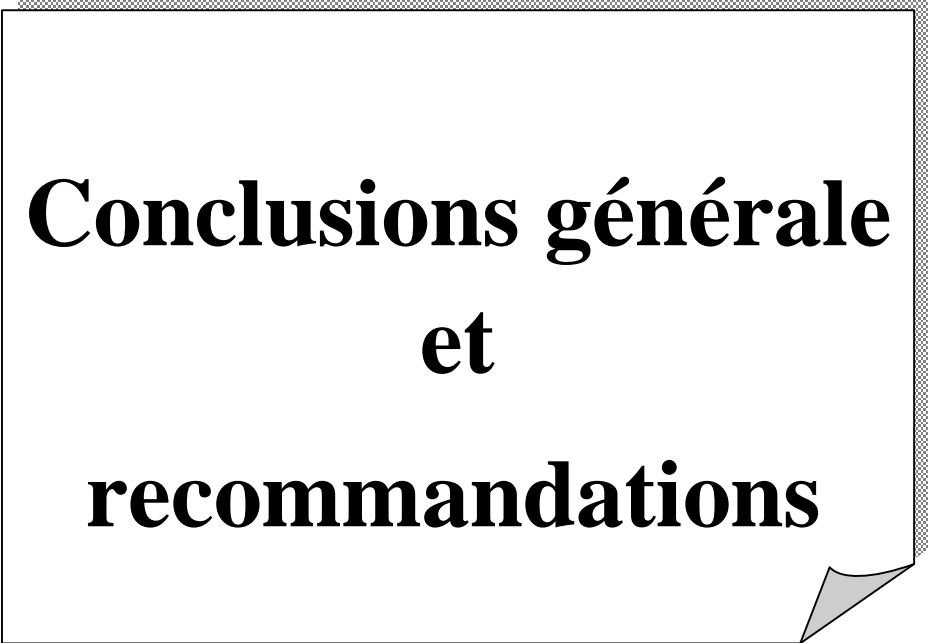
Cette partie est consacrée essentiellement à l'optimisation d'un mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier à base de sable de dunes, puis à l'étude de durabilité de ce mortier.

Les conclusions suivantes sont citées:

- Ø La maniabilité de mortier frais renforcé par fibres végétales du palmier dattier, a montré que celle-ci diminue lorsque le dosage et la longueur de fibres augmente. Pour notre étude nous avons pris des quantités des fibres qui vérifient les critères de maniabilité et les propriétés physiques et mécaniques.
- Ø Les fibres végétales utilisées jouent un rôle similaire aux gros granulats dans le comportement rhéologique de mortier de plâtre fibré à l'état frais.
- Ø La densité de mortier de plâtre fibré par fibres de palmier dattier, décroît avec l'augmentation du dosage et de la longueur de fibres.
- Ø L'absorption de l'eau de mortier de plâtre fibré par fibres de palmier dattier, croît avec l'augmentation du dosage et de la longueur de fibres.
- Ø La résistance à la compression croît avec l'augmentation du dosage en fibres utilisées et elle diminue pour les pourcentages et longueurs de fibres élevés à cause la mise en œuvre.
- Ø L'augmentation dans le dosage et la longueur de fibres améliore nettement la résistance à la flexion par rapport un mortier non fibré, mais nous enregistrons une chute pour certain dosage et longueur à cause la mauvaise mise en œuvre et mauvaise orientation des fibres.
- Ø Pour notre étude, nous avons pris des fibres de longueurs de 20 mm, et une fraction de 1,5% de masse, qui ont plus répond à les critères de maniabilité, et donnent des bonnes propriétés physiques et les meilleurs résultats mécaniques.
- Ø A des conditions normales, le problème de durabilité n'existe pas dans notre mortier, soit pour les fibres ou pour la pate-fibres. Puisque les fibres plongées dans une pâte de plâtre ne sont pas exposés aux problèmes de dégradation des formes ou les problèmes de chute de résistance. Au contraire, après les essais qui nous avons effectué sur des éprouvettes de mortier de plâtre fibré, nous trouvons que il ya une amélioration progressive en fonction du temps dans les résistances mécaniques soit à

la flexion ou à la compression, cette amélioration est plus remarquable pour la résistance à la flexion, où elle augmente de 5.83 MPa (28 jours) à 5.89 MPa (90 jours). Cela est dû, à l'évolution du processus de durcissement dans le temps et à l'augmentation de la force d'adhérence entre fibre-matrice de plâtre.

- Ø Les essais de gel-dégel, montrent un effet négatif de ce phénomène sur le mortier de plâtre fibré. Où nous avons enregistré une chute des résistances mécaniques jusqu'à 7 fois après 7 cycles de gel-dégel. La présence des fibres augmente l'effet défavorable de gel-dégel par les créations des pores aléatoires dans le mortier, ces pores sont remplis d'eau au moment d'essai qui crée des contraintes intérieures, ceci conduit à la chute et perte des résistances mécaniques.
- Ø Le traitement thermique influe favorablement sur les propriétés mécaniques du mortier de plâtre fibré, elles améliorent les résistances à la compression et à la flexion. On a pu atteindre pour un mortier chauffé à 80 °C et avec un temps de cure de 24 heures, une amélioration qui peut atteindre 90 % des résistances à la flexion et à la compression obtenues à 14 jours conservé à l'air libre de laboratoire.



**Conclusions générale
et
recommandations**

Conclusions générales et recommandations

I- Conclusions générales :

L'objectif principal de cette étude est d'apporter notre contribution à la valorisation des matériaux de construction locaux et élargir le domaine de son utilisation de façon rationnel. Les matériaux valorisés sont le sable de dunes, le plâtre et les fibres de palmier dattier qui se trouvent en très grandes quantités dans le sud algérien. Dans ce domaine, il existe très peu de travail de recherche à ce sujet localement à l'heure actuelle.

Ce travail de recherche est présenté en trois parties à l'issue de ces parties la conclusion suivante est citée:

Dans la première partie, nous avons présenté la recherche bibliographique, qui a porté à la fois sur :

- l'identification et caractérisation de différentes propriétés mécaniques et physiques de plâtre, et leurs formes de présence et ses utilisations dans le domaine de construction.
- Caractéristiques des fibres végétales, leur types et leur importance dans l'amélioration des propriétés mécaniques des matériaux de construction.
- Les composites renforcés par fibres végétales et l'influence des fibres sur le comportement et durabilité des composites et leur domaine d'application.

Les observations les plus importantes qui pourraient être cités :

- Malgré l'abondance naturelle de plâtre en Algérie, mais son utilisation est limitée aux travaux secondaires ou décoratifs. Il peut également être utilisé de plusieurs façons : comme une pâte de plâtre pure, mortier de plâtre (plâtre+sable) ou comme un béton de plâtre (plâtre+sable+agrégats).
- Actuellement, les fibres végétales sont devenues l'une des fibres les plus importants pour renforcer les matériaux de construction. Cela est dû à leurs propres caractéristiques et pour ses effets positifs sur l'environnement.

- Les composites renforcés par des fibres végétales, en appréciant par des propriétés physiques et mécaniques excellentes, et même en termes de permanence, ils donnent des bons résultats, Ainsi que leurs prix économique par rapport à d'autres matériaux. Tout cela a conduit à l'expansion de leur utilisation dans le domaine de la construction.

La deuxième partie traite l'identification et la caractérisation des différents matériaux retenus dans le programme expérimental, ainsi la formulation de chaque mélange et présente la méthodologie des essais et les mesures.

- Le plâtre utilisé est un plâtre de qualité, d'après sa teneur en $\text{Ca SO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$.
- Le sable utilisé est à granulométrie contenue, siliceux et propre, notons que les granulats siliceux donne les meilleures performances.
- La chaux utilisée possède deux types de calcites et joue un rôle important comme retardateur de prise et aussi dans la stabilisation du milieu basique du plâtre après la réaction de l'hydratation. Cela est très bénéfique pour éviter la corrosion des armatures s'il existe.
- L'eau de gâchage est celle de robinet de faible salinité.
- Les fibres végétales du palmier dattier utilisées comme renforts, ont une texture amorphe, elles ont une section pleine et les mêmes constituants que le bois, la présence des enchevêtrements sur leur surface assure une bonne adhésion fibre-matrice. Notre fibres, ont une masse volumique apparente faible et aussi un taux d'absorption d'eau élevée : il peut atteindre les 200 %, avec une moyenne résistance à la traction.
- Pour atteindre la composition optimale de pâte de plâtre et de mortier de plâtre qui donne les meilleures propriétés physiques et mécaniques. Nous avons effectué une série des essais de compression sur pâte de plâtre et de mortier de plâtre afin de déterminer la proportion optimale de chaque composant. Les remarques qui nous avons apporté sont :

- Ø Taux de présence d'eau dans une pâte de plâtre a une influence très important dans la détermination des propriétés physiques et mécaniques finales de notre produit plâtré, que ce soit pour pâte de plâtre pure ou pour mortier de plâtre.
- Ø Le but essentiel d'utilisation de sable c'est l'aspect économique, et l'ajout de sable conduit à une chute dans les résistances à la compression et à la flexion.

En fin, la troisième partie. Une étude expérimentale a été menée sur des mortiers préparés à partir de sable de dunes et renforcé par fibres du palmier dattier. Elle comporte deux volets :

Dans un premier lieu de l'étude expérimentale, c'est l'ajout des fibres du palmier dattier au mortier de plâtre dont le but de changer son comportement fragile à la traction. Le point de départ c'est utilisé la composition qui nous avons trouvé précédemment, et après, on a passé à la formulation de mortier de plâtre renforcé par fibres de palmier dattier avec des dosages variés pour un longueur fixé, puis on prend le dosage en masse optimale et on varie dans les longueurs, en fin nous avons sélectionné un mortier de plâtre fibré optimale, qui a les meilleurs propriétés surtout les propriétés mécaniques. L'analyse des résultats montre que :

- La formulation de mortier de plâtre par fibres de palmier dattier, ne nécessite pas un réajustement de la composition utilisé, contrairement à la formulation des bétons de ciment.
- Les fibres végétales comme autres fibres jouent un rôle similaire aux gros granulats dans le comportement rhéologique de mortier de plâtre fibré à l'état frais.
- Le comportement mécanique de mortier de plâtre fibré est totalement différent à celui de mortier sans fibres.
- La résistance à la compression est augmentée légèrement, due à l'ajout des fibres, mais pour les pourcentages et les longueurs élevés nous registrons une chute. Cela est en accord avec la littérature. En effet, la majorité des auteurs rapportent que l'ajout des fibres végétales au béton ou au mortier n'améliore pas beaucoup la résistance à la compression.

- Il ya une croissance considérable dans la résistance à la flexion de mortier fibré. Cela traduit par l'ajout de fibres du palmier dattier dans la matrice, améliore de façon importante la ductilité du matériau, et améliore aussi le seuil de fissuration.

Dans le deuxième lieu de l'étude expérimentale, des essais de durabilité (essai de compression et flexion à long terme, l'essai de gel-dégel, l'effet de traitement thermique), sur le mortier de plâtre renforcé par des fibres du palmier dattier optimale.

- Dans les conditions normales, nous avons constaté une augmentation dans les résistances mécaniques en fonction d'évaluation de temps, et aussi une amélioration de l'enchevêtrement entre fibre-matrice. Les fibres maintiennent fortement leurs caractéristiques morphologiques et mécaniques. Et cela est dû à l'absence d'éléments chimiques qui attaquent les composants de fibres végétales incorporé dans le mortier de plâtre, par contre les fibres incorporé dans une matrice du ciment perdent une grande partie des caractéristiques, en raison du phénomène d'alcalisation.
- L'essai de durabilité gel-dégel influe négativement sur la résistance à la compression et à la flexion de mortier de plâtre fibré. La présence des fibres augment cette effet négatif, dans les cas où nous rencontrons le phénomène de gel-dégel pour limiter l'effet défavorable de cette phénomène sur le mortier de plâtre fibré, nous recommandons par précaution d'utilisation des adjuvants anti gélif.
- Le traitement thermique de mortier de plâtre renforcé par fibres végétales joue un rôle très important dans le développement rapide des propriétés mécaniques de notre mortier dans un court temps, mais il ya une précaution d'utilisation de ce traitement pour les mortiers de plâtre renforcé par fibres végétales, puisque la température peut affecter la ductilité du matériau par ramollissement de la couche de lignite.

II- Recommandations :

La présente étude est un premier pas à la valorisation et d'élargir l'utilisation de matériaux locaux de sud algérien dans la construction, nous recommandons de compléter cette recherche par les axes suivants :

- Le comportement de mortier de plâtre renforcé par fibres du palmier dattier à la traction direct, cisaillement, la fatigue, le fluage, et le retrait.

Conclusions générales et recommandations :

- Etude de la durabilité de mortier de plâtre renforcé par fibres du palmier dattier à l'attaque extérieure des agents chimiques.
- Le comportement de notre mortier vis-à-vis de l'humidité.
- Réalisation d'études de faisabilité économique pour ces matériaux locaux par rapport aux matériaux utilisés actuellement.

Nous aspirons que cette étude contribuera à une large diffusion des éléments à la base de plâtre et mortier de plâtre renforcés par les fibres végétales de palmier dattier.



Bibliographie

Bibliographies

- [1] **Sylvain MEILLE.**, “Etude du comportement mécanique du plâtre pris en relation avec sa microstructure“, thèse de doctorat, L’INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES DE LYON, 2001.
- [2] **HAMIDA MOHAMED LAMINE.**, “Effet de l’humidité sur les caractéristiques thermiques et mécaniques de matériaux utilisés dans la construction“, thèse de magister, UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE, 2010.
- [3] **Daniel DALIGAND.**, “ Le plâtre“, technique de l’ingénierie, 2001.
- [4] **DJOUDI Amina.**, “Caractérisation structurale et rhéologique des bétons de plâtre et leur renforcements par les fibres végétales du palmier dattier“, thèse de magister, UNIVERSITE DE LAGHOUCHE, 2001.
- [5] **C.N.E.R.I.B.**, “Recommandations pour la construction en plâtre“, Centre National d’Etudes et de Recherche Intégrées au Bâtiment, 2003.
- [6] **SOLTANE.M.L.**, “Contrôle technique d’un prototype de quatre logements en plâtre à Biskra“,C.N.E.R.I.B, MATLOC 91, PP 101-104, 1991.
- [7] **SONEBLM.**, “ Opération expérimentale d’un logement construit en mortier plâtre banche à Rabat“, centre expérimentale du bâtiment, 1989.
- [8] **ZUBER.F.**, “Pour une construction en plâtre“, communication, Lafarge, 1989.
- [9] **ALDEBERT.R.**, “Rénovation du grand Louvre à la gloire du plâtre“, Le moniteur des travaux publics et du bâtiment, N°41615, PP 56-68, 1992.
- [10] **Kurek.B.**, “Les fibres naturelles : originalités, propriétés, qualités et défauts“, journée technique de matériaux renforcés par fibres naturelles, Bellignat (France), 2006.
- [11] **D.G. Hepworth.**, “The manufacture and mechanical testing of thermosetting natural fibre composites“, journal of materials science, 2000.
- [12] **Fogtdal.**, Autour du fil, l’encyclopédie des arts textiles, paris, 1990.
- [13] **Oleson.P.**, “Perspectives on the performance of natural plant fibres“, plant fibre laboratory, copenhagen (Denmark), 2003.

Bibliographies :

- [14] **Baley.C.**, “Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites“, AM6(AM5130) : P1-12, 2004.
- [15] **Da.Silva.**, “Etat de la connaissance scientifique sur les fibres végétales“, FRD (Fibres Recherche Développement), Troyes, P 90, 2008.
- [16] **C.A.R.M.A.**, “Glossaire des matériaux composites renforcés de fibres d’origine renouvelable “, Centre d’Animation Régional en Matériaux Avancés, 2006.
- [17] **BLEDZKI, A. K and GASSAN. J.**, “Composites reinforced with cellulose based fibers“, ELSEVIER, Progress in polymer science, volume 24, pp.221-274, 1999.
- [18] **MOKHTARI ABDESSAMED.**, “Influence des ajouts de fines minérales sur les Performances Mécaniques des Bétons Renforcés de Fibres Végétales de Palmier Dattier “, thèse de magister, UNIVERSITÉ DE OUARGLA, 2006.
- [19] **F.A.O.**, “L’impact environnemental des fibres dures et du jute dans les applications industrielles non textiles“, Rome, 15-16 décembre 2004.
- [20] **A. M. Brandt.**, “Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after 40 years of development in building and civil engineering“, Volume 86, 2008.
- [21] **M.A. Aziz, P. Paramasivam, S.L. Lee.**, “New Reinforced Concretes and Concrete reinforced with natural fibres “, Surrey University Press, 1984.
- [22] **A.Kriker, A.Bali, G. Debicki, M. Bouziane, M. Chabannet.**, “ Durability of date palm fibres and their use as reinforcement in hot dry climates “, Cement and Concrete Composites, Volume 30, 2008.
- [23] **J. Castro, A.E. Naaman.**, “Cement Mortar Reinforced with Natural Fibers “, ACI Materials Journal, Volume 78-6, PP 69-78, 1981.
- [24] **ACI.**, “State-of-the-art report on fibre reinforced concrete “, Reported by ACI Committee 544, 1996.
- [25] **D. Sedan.**, “Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite “, Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2007.
- [26] **M.A. Aziz.**, “Prospects for natural fibre reinforced concretes in construction “, The International Journal of cement Composites and Lightweight Concrete, volume 3-2, 1981.
- [27] **S. Mateo.**, “Propriétés physico-chimiques et réactivité du carbonate de glycérol faisabilité de l’obtention des α -monoethers de glycerol et propriétés solvantes “, Thèse de doctorat de l’Université de Bourgogne et de l’AGH Université des Sciences et Technologie, 2005.

Bibliographies :

- [28] **Das Gupta N.C.**, “Mechanical properties of coir reinforced cement paste composite “, Pergamon Press Inc. London, Volume 2-5, 1978.
- [29] **F. Hernandez-Olivares, I. Oteiza, L. de Villanueva.**, “Experimental analysis of toughness and modulus of rupture increase of sisal short fibre reinforced hemihydrated gypsum “, Composite Structures, Volume 22, 1992.
- [30] **V.F. Fisher, O. Wihaus, M. Ryssel, J. Oldrecht.**, “The water soluble carbohydrates of wood and their influence on the production of lightweight wood-wools boards “, Holztechnologie, Volume 15, 1974.
- [31] **Pascal BOUSTINGORRY.**, “Elaboration d’un matériau composite à matrice gypse et renfort bois fragmenté “, Thèse de doctorat, L’INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE, 2002.
- [32] **WILDING, WALTER, DOUBLE.**, “A classification of inorganic and organic admixtures by conduction calorimetry“, Cement and Concrete Research 14 185-194, 1984.
- [33] **G. Ramakrishna, T. Sundararajan.**, “Impact strength of a few natural fibre reinforced cement mortar slabs: a comparative study “, Cement and Concrete Composites, Volume 27 , 2005.
- [34] **R. D. Toledo Filho, K. Ghavami.**, “Free, restrained and drying shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetable fibres “, Cement and Concrete Composites, Volume 27, 2005.
- [35] **Camille MAGNIONT.**, “Contribution à la formulation et à la caractérisation d’un écomatériau de construction à base d’agroressources “, Thèse de doctorat, Université Toulouse III, 2010.
- [36] **B.J. Mohr, H. Nanko, K.E. Kurtis.**, “Durability of kraft pulp fiber-cement composites to wet/dry cycling “, Cement and Concrete Composites, Volume 27, 2005.
- [37] **KHENFER M.M.**, “Caractérisation structural et rhéologique des ciments et plâtres renforcé de fibres de cellulose“, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 1990.
- [38] **DJOUHRI Mohamed.**, “Confection d’une brique à base de sable de dunes“, thèse magistère, UNIVERSITÉ DE OUARGLA, 2007.
- [39] **OUACHES .R, DEVALLES.B.**, “Le PH des acides et des bases“, Chimie générale, OPU Alger, Publisud Paris, 1988.
- [40] **KRIKER. A.**, “Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec “, Thèse de doctorat d’état, ENP, Alger, 2005.
- [41] **CHEMA. A.**, “Valorisation des sous produits du palmier dattier, en vue de leur utilisation en alimentation des ruminant“, journée d’étude LAGHOUAT, 22-23, 2000.

Bibliographies :

- [42] **M.A. ALI, B. SINGH.**, “The effect of porosity on the properties of glass fibre-reinforced gypsum plaster“, JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 10, 1975.
- [43] **Norme Française, P18-406.**, Béton-Essai de compression, Éditions AFNOR, Paris, 1981.
- [44] **GUERMITI LAID.**, “ Contribution a l’amélioration de certaines caractéristiques du béton de structure à base de sable de dune corrigé et renforcé par des fibres métalliques “, thèse magistère, UNIVERSITÉ DE OUARGLA, 2013.
- [45] **Chafi Nardjes.**, “Matrice cimentaire renforcée de fibres valorisation des sous produits (polystyrène, copeaux d’acier et copeaux de bois) “, thèse magistère, Université Mentouri Constantine, 2005.
- [46] **Mohamed.A.S.**, “L’influence de la valorisation des microfibrilles végétales sur la formulation et la résistance aux cycles de gel-dégel de BEP“, Thèse de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, 2011.
- [47] **BOUTIBA.Aldjia.**, “Accélération du durcissement par énergies renouvelables du béton frais et caractérisation du béton durci “, thèse magistère, Université Boumerdes, 2007.