

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJE-BOUIRA



Faculté des Sciences et des sciences appliquées
Département Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

DANI SIHAM

MISSAOUI AICHA

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** en :

Filière : Génie Civil

Option : Ingénierie des matériaux de construction

Thème :

**Etude physico-chimique de mortier de plâtre à base sable
Renforcé de fibres synthétique et végétale**

Devant le jury composé de :

Nom et prénom	KENNOUCHE SALIM	UAMOB	Président
Nom et prénom	MESSBOUAA NOUR EDDINE	UAMOB	Encadreur
Nom et prénom	HAMI BRAHIM	UAMOB	Examinateur

Année Universitaire 2016/2017

Remerciements

Après avoir rendu grâce à dieu le tout puissant et le miséricordieux nous tenons à remercier vivement tous ceux qui de près ou de loin ont participé à la rédaction de ce document. Il s'agit plus particulièrement de :

*Notre promoteur monsieur **NOUREDDINE MESBOUA** de côté université et monsieur **HICHAM GHUEZRAOUI** de côté entreprise pour leur disponibilité, leur rigueur scientifique et son sens d'écoute et d'échange.*

*Notre chef de département **SALIM KENNOUCHE** et tout nos professeurs de Génie Civil qui nous ont fait bénéficier d'une formation pluridisciplinaire de très haut niveau et très adaptée aux réalités du Génie Civil.*

*Nous exprimons aussi une reconnaissance particulière à tous les travailleurs du **Centre d'étude Technologique Industriel des Matériaux de Construction (CETIM)**, pour l'aide qu'ils nous ont apportée et leur disponibilité durant notre stage de fin d'étude.*

Nous tenons à remercier aussi les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner et de juger notre travail.

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

*... **DANI&MISSAOUI***

Dédicace

Je dédie ce travail :

*À toi ma chère et tendre **maman** qui a souffert à m'élever sans jamais se plaindre et donnée de l'affection sans limite. mon soleil et aussi mon arc-en ciel, mon doux rayon de bonheur qui mets tout plein de couleur, qui fut le guide de mes premiers pas.*

*À toi mon père **Azzedine** qui m'as apporté par sa présence permanente la force, qui ma guider le long de mon chemin qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis.*

*À Mes chères sœurs en cas particulier « **fatchi** » qui sont pour moi plus que mes meilleures amies, depuis toujours, vous m'aidez dans mes choix, dans mes peines pour ne pas que je me perde.*

*Sans oubliée mon petit ange mon cœur d'amour **ahmed niños** qui a rempli notre vie de joies que dieu le garde pour toi ahlem.*

*À toi mon frère **Mohamed** un grand merci, un petit merci peut importe sa taille, il n'as pas de dimension, que se soit dans la joie ou dans la tristesse t'étais tjrs à mes cote à toi mon frère un petit mot gracieux qui calme et réjouit, merci.*

*À mes meilleurs amies **lilia et katia** , **Amina** , **nacera** qui sont pour moi comme des sœurs sur qui je peux déversez le contenu de mon cœur, qui ont partagé avec moi le stress et les moments les plus agréables.*

À toutes les personnes qui m'ont soutenues et crus en moi lors de mon parcours et à tout ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Siham DANI

dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A MÈRE : qui ma donné la vie , et éclaircir tendrement mon
existence et le courage pour réussir*

*A MON PÈRE : l'épaule solide , l'œil attentif compréhensif et
la personne la plus digne de mon estime et de mon respecte*

A MES CHÈRS FRÈRES

A MON ADORABLE SOEUR : chaima

A mes nièces et en cas particulier : ritelle

A MA GRANDE FAMILLE

A les personnes qui m'on aidée : hamza, imad , hicham

*Ainsi à toutes personnes qui m'ont encouragé ou aidé au long
de mes études*

*AICHA***

Présentation de l'entreprise-CETIM de BOUMERDES



Figure : Siège sociale de CETIM

1.1. Dénomination

Le CETIM est l'abréviation désignant « le centre d'étude et de service technologique de l'industrie des matériaux de construction ». C'est le « centre technique » algérien de l'industrie produisant les matériaux telle que le ciment les bétons, les chaux et plâtre les briques tuiles et céramiques

1.2 Forme juridique – actionnariat :

Le CETIM est une EPE/SPA filiale de groupe industriel des ciments d'Algérie-GICA. Son capitale sociale est de 124 M de DA (1,2 M€)

1.3. Géolocalisation :

Le CETIM est implanté géographiquement à Boumerdes et possède deux antennes : L'antenne EST à Constantine l'antenne OUEST à Oran

1.4. Mission

Le CETIM a pour mission essentielle de contribuer au progrès technique, à l'amélioration de la productivité et au développement de la qualité dans l'industrie des matériaux de construction.

Le CETIM suppose comme interface entre l'entreprise et l'université pour les activités de recherche, de formation et d'information.

1.5 Activités

- Présentation d'études et assistance (géologie, mines, topographe)
- Audits et expertises
- Présentation « environnement » (études d'impacts, études de changer, plan d'intervention.....)
- Information et formation
- Représentation du secteur
- Essais et analyses de laboratoires
- Développement industriel.

LISTE DES FIGURES

Chapitre I: Généralité sur les plâtres et mortier de plâtre

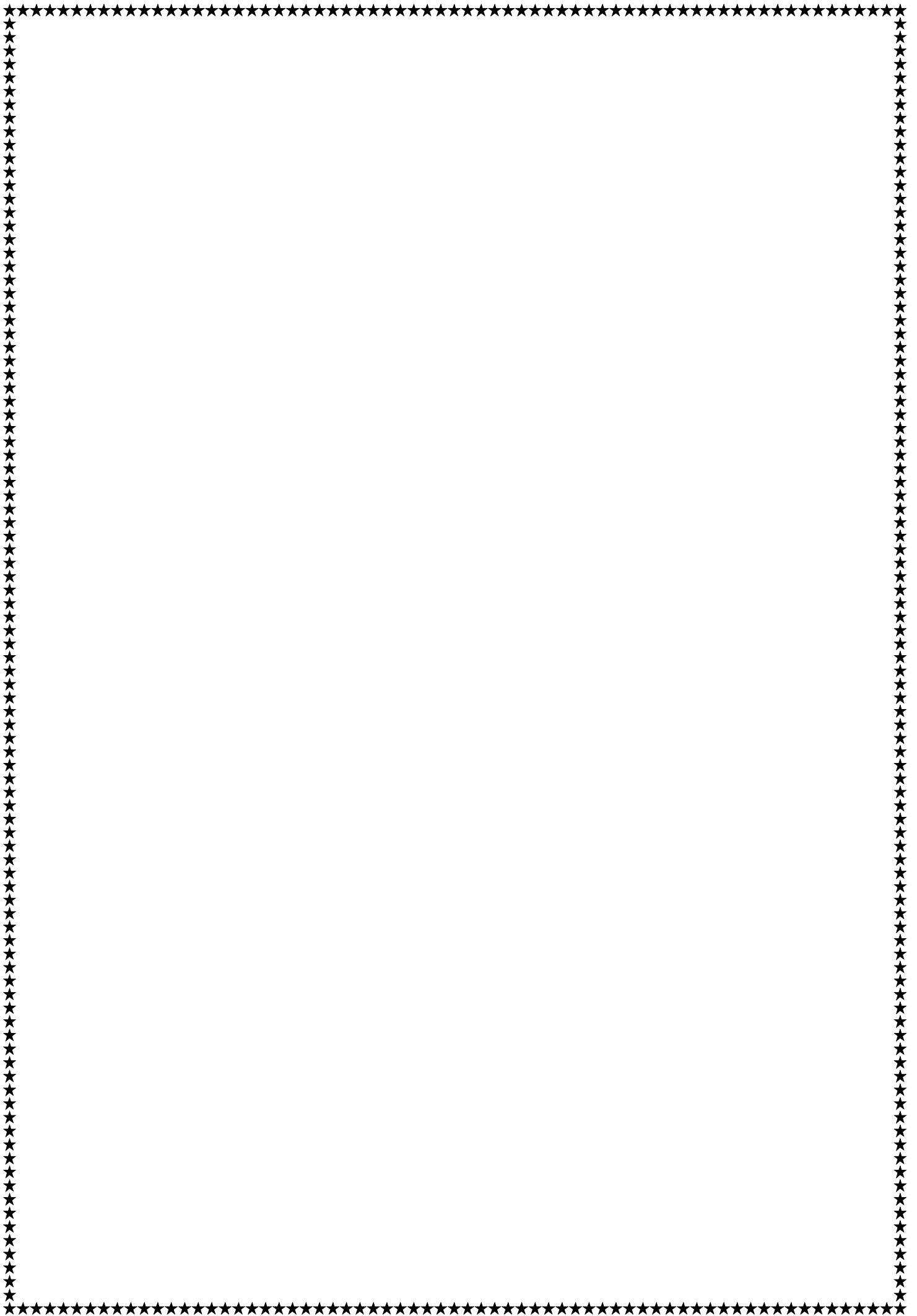
Figure(I.1) : Projection de la structure cristalline du gypse	5
Figure(I.2) : Images de gypses naturelles : (a, d) Gypse rose des sables,(b) gypse en fer de lance, (c, e) gypse	6
Figure(I.3) : Extraction de gypse à ciel ouvert	7
Figure(I.4) : concassage de gypse.....	8
Figure(I.5) : Four de cuisson du gypse.....	9
Figure(I.6) : Image MEB des plâtres prestia (Usine Meriel de groupe b La frage obtenus respectivement par voie humide (α) et par voie sèche (β)	11
Figure(I.7) : Utilisations du plâtre.....	18

Chapitre II: les fibres synthétiques et végétales

Figure (II.1) : Fibres de verre.....	28
Figure (II.2) : Fibres métalliques.....	29
Figure (II.3) : : Fibres de carbone.	31
Figure (II.4) : fibres polypropylène.....	32
Figure (II.5) : Illustrations de la plante d'Alfa à l'état brut	33
Figure (II.6) : [<i>Strapex</i>] Feuillards plastiques pour le cerclage.....	34
Figure (II.7) : Feuillards étroits en Polypropylène PP.....	34
Figure (II.8) : Feuillard en polyester Haute résistance PET.....	35

Chapitre IV: partie expérimentale

Figure (IV.1) : tamis a granulométrie	53
Figure (IV.2): courbe granulométriques de sable	55
Figure (IV.3) : fibres polypropylènes	58
Figure (IV. 4):. Saupoudrage de plâtre.....	59
Figure (IV. 5): Déroulement de la confection des éprouvettes du plâtre	61
Figure (IV.6): l'essais de temps de prise.....	62
Figure (IV.7): La confection des éprouvettes témoins	64
Figure (IV.8): Machine a flexion.....	67
Figure (IV.9):Machine a compression	68
Figure (IV.10): Evolution de la résistance à la flexion et à la compression après l'ajout des superplastifiants à la pâte de plâtre.....	69
Figure (IV.11): Évolution de la résistance à la compression et à la flexion après l'ajout des fibres à la pâte de plâtre.....	70
Figure (IV.12) : Evolution de la résistance à la flexion et à la compression après l'ajout des superplastifiants au mortier de plâtre	72
Figure (IV.13): Évolution de la résistance à la compression et à la flexion après l'ajout des fibres au mortier de plâtre	74



LISTE DES TABLEAUX.

CHAPITRE I : Généralité sur les plâtres et mortier de plâtre

Tableau (I. 1) : Solubilité en grammes, du sulfate de calcium, par kg d'eau [3]	5
Tableau (I. 2) : Phases de déshydratation du gypse [7]	11
Tableau (I. 3) : Propriétés caractéristiques des deux variétés usuelles de semi-hydrate [7]	14
Tableau (I.4) : Caractéristiques thermiques du plâtre [8]... ..	15

Chapitre II: les fibres synthétiques et végétales

Tableau (II.1) : Composition chimique de quelques fibres végétales	25
Tableau (II-2) : Caractéristiques générales des fibres végétales [15]	25
Tableau (II.3) : propriétés mécanique d'un matériau composé par 50% de fibres végétales et 50% de polypropylène (pp) [16]	26
Tableau (II.4) : avantages et inconvénients des fibres végétales.....	27

Chapitre III: les composites renforcés par les fibres

Tableau (III. 1) : Exemples de matériaux composites, pris au sens large [23].....	45
---	----

Chapitre IV:

Chapitre I: Généralité sur les plâtres et mortier de plâtre

Tableau(I.1) : Solubilité en grammes, du sulfate de calcium, par kg d'eau [3]	5
Tableau(I.2) : Phases de déshydratation du gypse [7]	11
Tableau(I.3) : Propriétés caractéristiques des deux variétés usuelles de semi-hydrate [7]	14
Tableau(I.4) : Caractéristiques thermiques du plâtre [8]	15

Chapitre II: les fibres synthétiques et végétales

Tableau (II.1) : Composition chimique de quelques fibres végétales	25
Tableau (II.2) : Caractéristiques générales des fibres végétales [15]	25
Tableau (II.3) : propriétés mécanique d'un matériau composé par 50% de fibres végétales et 50% de polypropylène (pp) [16]	26
Tableau (II.4) : avantages et inconvénients des fibres végétales	27

Chapitre III: les composites renforcés par les fibres

Tableau (III.1) : Exemples de matériaux composites, pris au sens large [23].....	45
--	----

Chapitre IV:

Tableau (IV.1) : représente la composition chimique du plâtre utilisé	52
Tableau (IV.2) : Propriétés physiques du plâtre	52

Tableau(IV.3) : Caractéristiques mécaniques du plâtre	53
Tableau (IV.4) : Résultat Analyse granulométrique de sable d'oued souf	54
Tableau (IV.5) : Module de finesse du sable	56
Tableau (IV.6) : Caractéristiques physiques du sable (0/4)	56
Tableau(IV.7) : caractéristique de superplastifiant sika 544	57
Tableau(IV.8) : Détermination le rapport E/P	60
Tableau(IV.9) : le Rapport E/P pour la pâte de plâtre	62
Tableau (IV.10) : le Rapport E/P pour le mortier de plâtre	63
Tableau (IV.11): composition de la pâte de plâtre	65
Tableau (IV.12) : Résultats de la résistance à la flexion et à la compression après l'ajout des superplastifiant à la pâte de plâtre (kgf /cm²)	68
Tableau (IV.13): Résultats de la résistance à la flexion et à la compression après l'ajout des fibres à la pâte de plâtre (kgf /cm²)	70
Tableau (IV.14): composition de mortier de plâtre	71
Tableau (IV.15) : Résultats de la résistance à la flexion et à la compression après l'ajout des superplastifiant au mortier de plâtre (kgf /cm²)	72
Tableau (IV.16) : résultat de la résistance à la flexion et à la compression après l'ajout des fibres au mortier de plâtre (kgf /cm²)	73

<u>Generalité</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.1.Définitions</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.1.1.Définition d'un liant</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.1.2.Role d'un liant</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.1.3.Définition d'un liant aérien</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.1.4.Définition du gypse</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>1.1.5. Définition de plâtre</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.2.La matière première</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.3.Structure cristalline du gypse</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.4.Les types de gypse</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.4.2.Le gypse de synthèse (chimique)</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.5.Fabrication du plâtre</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.5.1.L'extraction</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.5.3.La cuisson</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.5.Déshydratation du gypse</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.6.Fabrication du semihydrate</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.6.Les différents types de plâtres</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.7.Les propriété physique de platre</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.7.1.Prise</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.7.2.Accélérateurs de prise</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.7.3.Retardateurs de prise</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.7.4.Épaississeurs et rétenteurs d'eau</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.7.5.durcissement</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.8.Isolation thermique et régulation de l'hygrométrie</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.9.Isolation acoustique</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.10.Résistance au feu</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>I.11.Domaine d'utilisation des éléments à base de plâtre :</u>	Erreur ! Signet non défini.

I.10.Le mortier de plâtre..... Erreur ! Signet non défini.

I.11.Etude et composition de mortier de plâtre Erreur ! Signet non défini.

<u>II .Introduction</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.1.Les fibres</u> :	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.2. Les fibres naturelles</u> :	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.2.1.Généralités</u> :.....	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.2.2.Définition</u> :.....	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.2.3.Structure d'une fibre</u> :	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.3.Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres naturelles</u> :.....	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.4.Caractéristiques chimiques des fibres naturelles</u> :.....	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.5.Domaine d'utilisation</u> :	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.6. Utilisation des fibres naturelles dans le domaine de génie civile</u> :	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.7.Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux de construction</u> :	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.8.Les fibres synthétiques</u> :	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.8.1. Les types des fibres</u> :	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.9. Les différents types de fibres</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.10.LES CARACTÉRISTIQUES D'UNE FIBRE</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.11. La dispersion et l'orientation de la fibre</u> :.....	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.12. Influence de la morphologie des fibres</u> :	Erreur ! Signet non défini.
<u>II.13. CONCLUSION</u> :	21

<u>III. Généralités sur les composites de fibres naturelles</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>III.1. Historique</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>III.2. Définition</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>III.3. Caractéristiques générales</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>III.4. CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX COMPOSITES</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>III.4.1. Composites à fibres</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>III.4.1.1. Le feillard en plastique</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>III.4.1.2. Le feillard polypropylène PP</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>III.4.2. Composites à particules</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>III.5. Classification suivant la nature des constituants</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>III.6. Matières premières des composites de fibres naturelles</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>III.7. Les renforts</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>III.8. Optimisation des performances des composites de fibres végétales</u>	Erreur ! Signet non défini.
<u>III.9. Principaux avantages et inconvénients des matériaux composites à charges végétales</u>	Erreur ! Signet non défini.
Signet non défini.	
<u>III.10. Application des composites à base des fibres végétales</u> :.....	Erreur ! Signet non défini.
<u>III.10. CONCLUSION</u> :	52

LISTE DES FIGURES

Chapitre I: Généralité sur les plâtres et mortier de plâtre

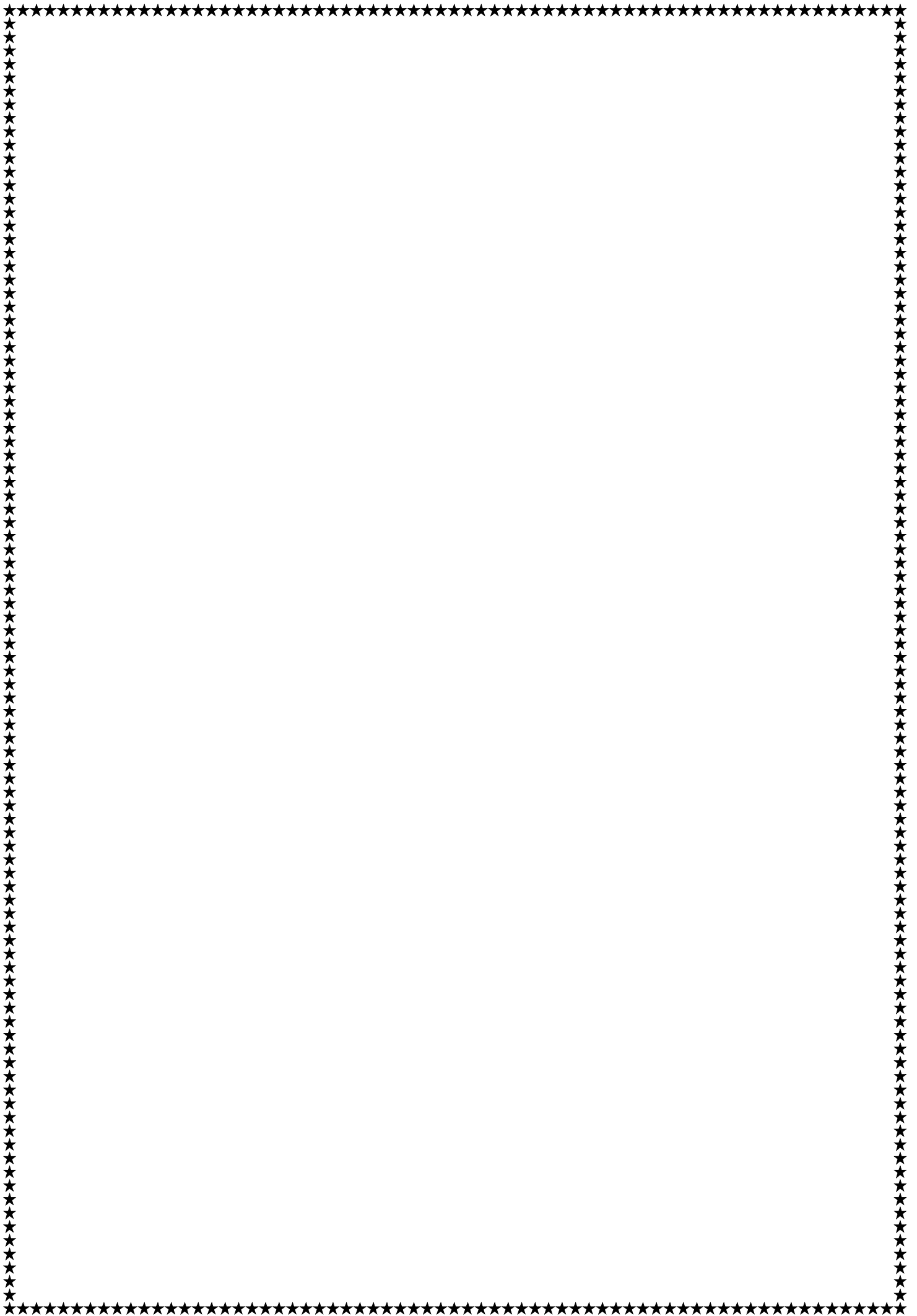
Figure(I.1) : Projection de la structure cristalline du gypse	5
Figure(I.2) : Images de gypses naturelles : (a, d) Gypse rose des sables,(b) gypse en fer de lance, (c, e) gypse	6
Figure(I.3) : Extraction de gypse à ciel ouvert	7
Figure(I.4) : concassage de gypse.....	8
Figure(I.5) : Four de cuisson du gypse.....	9
Figure(I.6) : Image MEB des plâtres prestia (Usine Meriel de groupe b La frage obtenus respectivement par voie humide (α) et par voie sèche (β)	11
Figure(I.7) : Utilisations du plâtre.....	18

Chapitre II: les fibres synthétiques et végétales

Figure (II.1) : Fibres de verre.....	28
Figure (II.2) : Fibres métalliques.....	29
Figure (II.3) : : Fibres de carbone.	31
Figure (II.4) : fibres polypropylène.....	32
Figure (II.5) : Illustrations de la plante d'Alfa à l'état brut	33
Figure (II.6) : [<i>Strapex</i>] Feuillards plastiques pour le cerclage.....	34
Figure (II.7) : Feuillards étroits en Polypropylène PP.....	34
Figure (II.8) : Feuillard en polyester Haute résistance PET.....	35

Chapitre IV: partie expérimentale

Figure (IV.1) : tamis a granulométrie	53
Figure (IV.2): courbe granulométriques de sable	55
Figure (IV.3) : fibres polypropylènes	58
Figure (IV. 4):. Saupoudrage de plâtre.....	59
Figure (IV. 5): Déroulement de la confection des éprouvettes du plâtre	61
Figure (IV.6): l'essais de temps de prise.....	62
Figure (IV.7): La confection des éprouvettes témoins	64
Figure (IV.8): Machine a flexion.....	67
Figure (IV.9):Machine a compression	68
Figure (IV.10): Evolution de la résistance à la flexion et à la compression après l'ajout des superplastifiants à la pâte de plâtre.....	69
Figure (IV.11): Évolution de la résistance à la compression et à la flexion après l'ajout des fibres à la pâte de plâtre.....	70
Figure (IV.12) : Evolution de la résistance à la flexion et à la compression après l'ajout des superplastifiants au mortier de plâtre	72
Figure (IV.13): Évolution de la résistance à la compression et à la flexion après l'ajout des fibres au mortier de plâtre	74



Abstract

The main objective of this study is the valorisation of local materials (plaster, sand and synthetic and vegetable fibers) for the Algerian south region, broaden the scope of use of these materials in construction. We note that despite the enormous existence of gypsum, but its use is limited to some secondary work such as the coatings and decorative elements. Sand and fiber, its use in the field of construction are very rare. In this study, it was added sand and plaster fibers, in order to find a mortar with physical and mechanical properties which allow its use in construction.

First, we added the sand to the plaster, we concluded the following results:

- There is a decrease in the resistance to compression and flexion.
- There is an increase in density.

Second, we added the fibers to the plaster mortar, the results were as follows:

- There is an increase in the resistance to compression and flexion.
- There is a decrease in density.

From the results obtained, the fiber reinforced gypsum mortar may be used in the field of constructions in several forms such as prefabricated wall plates, whatever the load-bearing walls or the cover plates of the facades.

Keywords: plaster, sand, fibers, mechanical resistance,

Résumé

L'objectif principal de cette étude c'est la valorisation des matériaux locaux (plâtre, sable et les fibres synthétique et végétale) 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 et les fibres , son utilisation dans le domaine de la construction sont très rare.

Au cours de cette étude, il a été ajouté le sable et les fibres 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 conclue 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.

A partir de résultats obtenus, on peut utiliser le mortier de plâtre renforcé par des fibres d'alfa 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, les fibres d'alfa , la résistance mécanique, durabilité

ملخص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم المواد المحلية (الجبس والرمل والألياف الاصطناعية والنباتية) لمنطقة جنوب الجزائر، لتوسيع مجال استخدام هذه المواد في البناء. نلاحظ أنه على الرغم من وجود هائل من الجبس، ولكن استخدامه يقتصر على بعض الأعمال الثانوية مثل الجص والعناصر الزخرفية. الرمال و الألياف، واستخداماتهم في مجال البناء نادرة جدا.

أثناء هذه الدراسة، أضفنا الرمل والألياف إلى الجص، من أجل العثور على هاون مع خصائص فيزيائية وميكانيكية التي تسمح استخدامها في البناء.

أولاً، أضفنا الرمل إلى الجص، استنتجنا النتائج التالية:

- هناك انخفاض في المقاومة للضغط و الانتناء .

- هناك زيادة في الكثافة.

ثانياً، أضفنا الألياف إلى هاون الجص، وكانت النتائج كما يلي:

- هناك زيادة في مقاومة الانضغاط و الانتناء.

- هناك انخفاض في الكثافة.

من النتائج التي تم الحصول عليها، يمكن استخدام هاون الجبس المقوى بالألياف في مجال الإنشاءات في عدة أشكال مثل ألواح الحائط الجاهزة، أيا كانت الجدران الحاملة أو لوحات الغلاف من الواجهات.

كلمات البحث: الجص، الرمل، الألياف، المقاومة الميكانيكية

Introduction générale

Aujourd'hui la demande pour des produits plus performants n'a jamais été aussi forte en Europe, au Moyen-Orient et en Afrique, où l'industrie de la construction évolue rapidement, et nécessite le développement continu de nouveaux produits très performants pour améliorer la qualité et la durabilité des matériaux de construction.

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, et les fibres naturelle et synthétique.

L'utilisation des fibres 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 ...) et synthétiques 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 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'enflant pas un matériau de structure à proprement dit. Cette caractéristique est peut être responsable du fait que peu de 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, 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 d'alfa .et de l'intégrer d'une

Introduction générale

façon rationnelle dans le domaine de la construction.

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

- Etude de composition d'une pâte de plâtre pure et un mortier de plâtre à base de sable .
- L'amélioration de certaines propriétés physiques et mécaniques du mortier de plâtre par son renforcement avec les fibres végétale et synthétique.
- Etude de l'influence de super plastifiant

Méthodologie du travail :

Ce mémoire est structuré en deux parties, la première partie consacrée à la recherche Bibliographique qui constituera trois chapitres

Le premier chapitre: est une recherche bibliographique et généralités sur les plâtres, ses caractéristiques et ses propriétés physiques et mécaniques que soit pâte pure, mortier, aussi les méthodes de fabrication ainsi que leurs domaines d'application.

Le deuxième chapitre: nous citons les différents types des fibres végétales, et synthétiques et ses essentielles caractéristiques physiques, mécaniques, et chimiques, et leurs utilisations dans le domaine de génie civil.

Le troisième chapitre: concerne les composites renforcé par des fibres synthétique et végétales.

La deuxième partie est consacrée à l'étude expérimentale:

Le quatrième chapitre : concerne l'étude de la composition et les caractéristiques des matériaux utilisées et les méthodes d'essais.

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.

I. Généralité

L'utilisation du gypse trouve sa place dans le domaine de la construction, la déshydratation de ce matériau, produit le plâtre, qui lui aussi, est très utilisé dans la construction, vu ces avantages multiples. Néanmoins, le plâtre présente un inconvénient par rapport à sa tenue à l'eau.

Le plâtre est découvert depuis l'antiquité, 9000 ans environ avant J.C. Il est utilisé comme support pour fresques murales (extérieur et intérieur). Par la suite, on s'en sert comme joints des blocs de pyramides en Egypte, dans toutes les constructions romaines, dans l'ornement des palais et mosquées moyenâgeux. A l'époque de LOUIS XIV [1], le plâtre est rendu obligatoire comme enduit intérieur et extérieur pour limiter les risques d'une propagation catastrophique d'incendie comme celui survenu à Londres en 1666. Des carrières d'extraction du gypse voient le jour. Vers la fin du dix-huitième siècle, la plaque de plâtre est conçue. Depuis lors, l'exploitation du plâtre s'est développée. De nos jours, C'est un liant peu utilisé dans les travaux publics mais d'un emploi très courant dans les constructions pour ses qualités décoratives, de coupe-feu, de légèreté, d'isolant thermique et phonique et pour son faible coût. De nombreux travaux de recherche ont été menés pour mieux comprendre ses propriétés, sa structure cristalline, son comportement vis-à-vis de l'environnement d'une part et, pour améliorer son comportement mécanique d'autre part. Beaucoup moins résistant mécaniquement que le ciment, très sensible à l'action de l'humidité, il n'est utilisé pour le gros œuvre soumise à de forte contraintes, ni pour les travaux extérieurs, sauf s'il est préparé spécialement.

L'emploi du se justifie par le fait que c'est un très bon isolant thermique et phonique et qu'il constitue un bon écran protecteur contre l'incendie.

I.1.Définitions

I.1.1.Définition d'un liant

C'est un composé minérale pulvérulent formant avec l'eau une pâte qui durcit progressivement en agglomérant les autres éléments d'un mortier (ce terme c'est-à-dire liant) désigne : la chaux, les ciments, les plâtres

I.1.2.Role d'un liant

Il assure la cohésion des éléments de maçonnerie en les reliant entre eux d'où la nécessité de réaliser une pâte plastique, et pouvant durcir à l'air ou sous l'eau, le liant devra

assurer la prise, le durcissement du mortier de liaison des éléments de maçonnerie, la solidification porte le nom de prise.

I.1.3. Définition d'un liant aérien

Les liants aériens sont des poudres provenant de la calcination de calcaires naturels à base de carbonate de chaux, ces poudres délayées dans l'eau donnent une pâte chaux, mélangé de silice, et d'alumine ou d'argile, on gâche encore ces poudres avec de l'eau, mais elle possède la propriété d'hydraulicité c'est-à-dire faire prise aussi bien à l'air que sous l'eau.

I.1.4. Définition du gypse

Le gypse appelé par les anciens « pierre de lune » et actuellement « pierre a plâtre » appelé aussi di-hydrate , désigne l'espèce minérale naturelle de formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, cette même formule s'applique en outre à la phase artificielle que constitue le gypse cuit et réhydraté , obtenu à partir des produits de cuisson mis en présence d'eau.

Le gypse est une roche sédimentaire provenant de dépôts marins que l'on trouve avec le sel gemme, les marnes l'anhydrite, et pratiquement à tous les niveaux des ères géologique.

Le gypse peut également présenter une structure fibreuse, lamellaire ou terreuse. Le gypse pur blanc, opaque, les cristaux sont incolores ou maclés en fer de lance ou en queue d'hirondelle ou encore dans des roses de sable, il est souvent coloré par des impuretés en jaune, en gris ou en brun (trace d'argile, de silice, d'oxyde de fer, de calcite.....).

Il reforme 20,6% d'eau, les acides ne l'attaquent pas. Le gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ se cristallise dans le système monoclinique, la structure est formée de deux feuillettes de tétraèdres SO_4 en serrant les ions Ca, les molécules d'eau sont placées entre ses couches.

Si la composition ne s'écarte pas de la formule idéale le gypse présente cependant fréquemment des inclusions d'argile de quartz et ainsi que des inclusions fluides.

Pour transformer le gypse naturel ou chimique en plâtre, il faut procéder à un ensemble de phases :

L'extraction, le concassage, le séchage, le deuxième concassage, la cuisson, le broyage, le blutage et enfin l'ensachage.

1.1.5. Définition de plâtre

Le plâtre est un liant hydraulique, une poudre blanche provenant de la cuisson de gypse, il comprend surtout sous sa forme commune, un héli-hydrate $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ Qui réduit en poudre puis gâché avec de l'eau fait prise pour reconstituer l'hydrate à deux molécules d'eau.

I.2. La matière première

Désigne le matériau d'origine naturelle qui est l'objet d'une transformation artisanale ou industrielle. Des études récentes permettent d'avoir des connaissances assez larges sur le plâtre notamment sur sa matière première et son élaboration. En effet le plâtre est obtenu à partir du gypse.

I.3. Structure cristalline du gypse

Les travaux de S. MEILLE en 2007 Permettent d'en avoir une idée bien précise. Le cristal de gypse est de symétrie monoclinique, il est composé d'un empilement de couches d'ions calcium Ca^{2+} et sulfate SO_4^{2-} de forme tétraédrique avec un atome de soufre au centre et des atomes d'oxygène aux sommets. Ils sont séparés par des doubles couches d'eau. [1]

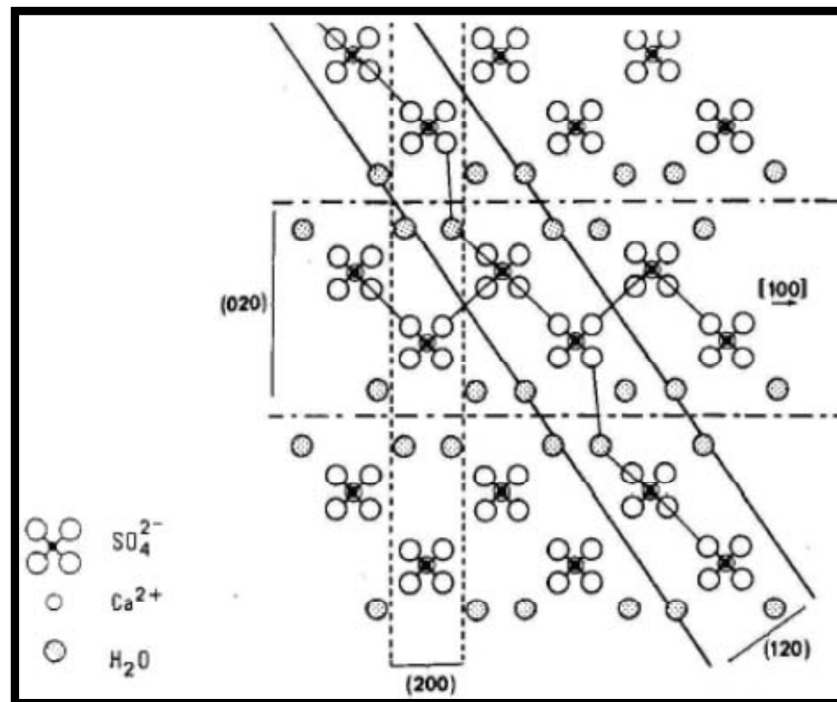


Figure I. 1 : Projection de la structure cristalline du gypse [1]

I.4. Les types de gypse

Il en existe deux types : le gypse naturel et le gypse de synthèse.

I.4.1. Le gypse naturel

De la famille des roches sédimentaires les plus solubles dans l'eau, il se trouve dans la nature en quantité importante et se présente sous forme de deux structures :

- un hydraté de sulfate de calcium de formule chimique ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), c'est le gypse.
- un anhydre de formule CaSO_4 qui est l'anhydrite.

Les images de la figure I.2 [2] montrent ses multiples présentations physiques.

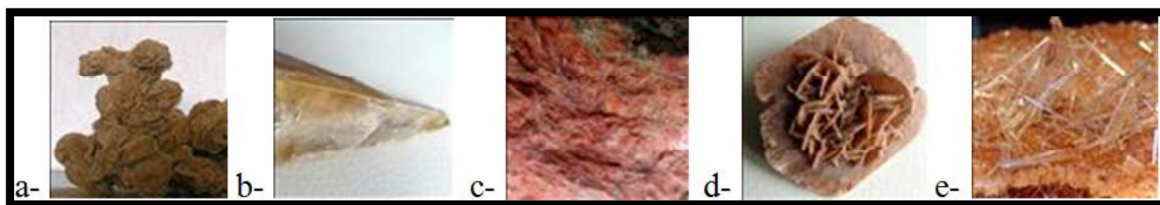


Figure I. 2 : Images de gypses naturelles : (a, d) Gypse rose des sables, (b) gypse en fer de lance, (c, e) gypse.

En France, le gypse naturel est extrait principalement dans le Bassin parisien, le Vaucluse, les Alpes, le Jura, la Charente, les Pyrénées et les Landes. Il se caractérise par une masse volumique de $2,31 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, une dureté à l'échelle de Mohs de 1,5 à 2 suivant l'orientation de la face cristalline. La solubilité en grammes, par kilogramme d'eau de sulfate de calcium, est donnée dans le tableau I.1 [3].

Tableau I. 1 : Solubilité en grammes, du sulfate de calcium, par kg d'eau [3]

N ^o	Température (° C)	Solubilité	Observation
1	3	1,81	Solubilité maximale
2	20	2,04	
3	38	2,10	
4	100	1,69	

I.4.2. Le gypse de synthèse (chimique)

Il est le résultat d'une réaction chimique industrielle, ou du traitement d'effluents contenant H_2SO_4 .

1^{er} cas

Ils peuvent provenir de la fabrication de l'acide phosphorique utilisé dans la fabrication d'engrais riches.

Phosphate de Ca naturel + acide sulfurique en excès mélange d'acide phosphorique et sulfate de Ca, le gypse est alors séparé et récupéré par passage sur les filtres.

2^{ème} cas

Le gypse chimique est produit par :

- L'industrie d'obtention du sel marin.
- La neutralisation des taux résiduels acides, dont celles provenant de la fabrication du dioxyde de titane, gypse désulfuration (variétés très connues dans certains pays).
- Le traitement de certaines solutions salures résiduelles.

I.5. Fabrication du plâtre

I.5.1. L'extraction

Le plâtre provient du gypse, un minéral essentiellement composé de sulfate de calcium hydraté. Il peut être extrait à ciel ouvert ou en carrière souterraine.



Figure I. 3 : Extraction de gypse à ciel ouvert

I.5.2. Le concassage – calibrage

Le concassage a pour but de réduire le gypse extrait de la carrière en produits plus fins.

Généralement, après un concassage, il ne subsiste plus de blocs dont la dimension est supérieure à 100 mm. Ce gypse devient donc transportable sur des bandes paillées par exemple, et peut être envoyé en usine pour le traitement ultérieur [4].

De très nombreux types de concasseurs existent sur le marché et peuvent traiter jusqu'à (1200 à 1300 t/h).

Voici quelques types de concasseur utilisés dans l'industrie.



Figure I. 4 : concassage de gypse

- **concassage a mâchoire**

Les blocs sont écrasés entre 2 mâchoires cannelées, l'une fixe, l'autre animée d'un mouvement alternatif.

- **Concasseur a cylindre dentés**

Les deux cylindres tournent en sens inverses. Les rendements sont importants.

- **Concasseur a cylindre unique et mâchoires**

Le gypse est écrasé par un cylindre denté tournant devant une mâchoire fixe, bien adapté au traitement d'un matériau humide.

- **Concasseur à percussion (à marteaux)**

Un cylindre à marteau fixe tourne à grande vitesse et projette ainsi les blocs contre les enclumes.

S'il est nécessaire de réduire la granularité des morceaux provenant de concassage, on opère un broyage primaire.

Le concasseur peut, dans certains cas, être accompagné d'un crible pour trier les éléments qui sont déjà suffisamment fins et ne pas surcharger l'appareil. Un crible peut aussi, dans certaines circonstances, éliminer des impuretés fines et indésirables (argiles fines, marnes, loess,...).

Dans le cas où le gypse est particulièrement tendre, on peut coupler le concassage avec un criblage, de façon que du crible soit recyclé vers le concasseur. On peut, dans ce cas, faire parfois l'économie d'un poste de concassage secondaire.

Tous ces postes, homogénéisation, concassage primaire et éventuellement concassage primaire plus criblage, fonctionnent en générale indépendamment de l'usine et ont pour but de fournir à la platière, la matière première dont elle a besoin.

La suite de l'opération s'effectue dans l'atelier de cuisson et fait partie intégrante de la chaîne de fabrication des plâtres [5].

I.5.3. La cuisson

Elle permet d'obtenir, par une déshydratation plus ou moins poussée du gypse, les divers éléments constitutifs du plâtre.

La déshydratation du gypse est la base de la fabrication des plâtres. Il est connu que suivant les conditions dans lesquelles s'opèrent cette déshydratation, les caractéristiques des plâtres obtenus seront différentes.

La déshydratation des gypses est donc fonction de la température, de la durée de cuisson, de la nature du gypse, de la granulométrie mais également d'autres paramètres comme la pression de vapeur d'eau.



Figure I. 5 : Four de cuisson du gypse

On procède à la cuisson suivant deux principes essentiels :

- La cuisson en voie sèche (destinée pour la fabrication du plâtre bêta).
- La cuisson en voie humide (destinée pour la fabrication du plâtre Alpha).

a) La cuisson de plâtre Béta

Après un premier broyage, la poudre fine calibrée est cuite à raison de 5 t par heure, dans des fours de type « four beau » qui opère une cuisson indirecte du gypse placé dans une virole en rotation au-dessus de brûleurs à fioul.

b) La cuisson de plâtre Alpha

On dépose les pierres de gypse, précédemment triées, dans des paniers que l'on descend ensuite dans des autoclaves (sorte de « cocotte-minute »). La cuisson s'effectue à une pression pouvant aller jusqu'à 10 bars. Les caractéristiques du plâtre ainsi obtenu permettent un gâchage avec peu d'eau (5 à 6 fois moins qu'avec du plâtre Béta) pour un matériau offrant alors des résistances mécaniques beaucoup plus élevées.

I.6.Processus de cuisson du plâtre

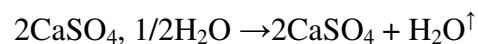
I.6.1. Déshydratation du gypse

La pression de vapeur d'eau augmente avec la température dans la matière à cuire, l'expulsion des molécules d'eau de di-hydrate entraîne la transformation de son réseau cristallin monoclinique en une symétrie trigonale, selon l'atmosphère de vapeur d'eau présente apparaissent des formes différentes d'hémi hydrate a savoir.

La forme différente des cristaux d'hémi hydrate α et β avec leur part respective influencent les propriétés physique du plâtre. Le processus de déshydratation se déroule



La poursuite de la déshydratation de l'hémi hydrate fait apparaitre les anhydrites



Les impuretés contenues dans le gypse ne subissent pas de transformation chimique lors de la fabrication du plâtre.

Elles exercent toute fois une influence négative sur les propriétés physique des produits finaux en fonction de leur proportion (supérieur à 15%).

Dans le cas de plâtre de température élevée qui sont totalement déshydratés, les impuretés peuvent subir une transformation chimique.

I.6.2.Fabrication du semi -hydrate

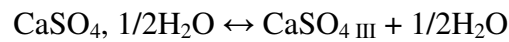
Le terme plâtre est utilisé pour désigner un matériau solide que l'on appelle autrement plâtre pris, c'est aussi la poudre ou encore le semi- hydrate qui permet, après gâchage d'obtenir ledit matériau solide.

La fabrication de cette poudre consiste à éliminer partiellement de l'eau de constitution du gypse. Les phénomènes de cristallisation qui ont lieu sont décrits par plusieurs auteurs et peuvent se résumer comme il suit : en procédant à la cuisson entre 100 °C et 140 °C, on obtient les semi-hydrates α et β selon que celle-ci est effectuée sous vapeur d'eau ou à l'air. Le semi-hydrate présente une structure cristalline monoclinique.

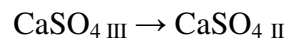
La transformation s'effectue suivant l'équation :



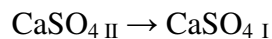
Si on poursuit la cuisson vers 200 °C on a l'anhydrite III ou l'anhydrite soluble. Très instable, il se réhydrate assez rapidement en semi-hydrate au contact avec l'eau en phase vapeur. Sa structure cristalline est hexagonale. L'équation de la transformation est alors :



L'anhydrite III se transforme en anhydrite II, de structure cristalline orthorhombique, lorsqu'on est aux alentours de 250 °C à partir du semi-hydrate α et vers 400 °C à partir du semi-hydrate β :



Dans le cas où on cuit au-delà de 1200 °C, on obtient l'anhydrite I, sa structure cristalline est cubique à faces centrées, la réaction se produit conformément à l'équation ci-dessus :



Les semihydrates α et β sont les principaux produits utilisés : le premier par un gâchage avec peu d'eau permet d'obtenir de bonnes propriétés mécaniques. Il est utilisé pour les moulages spéciaux, la fabrication des prothèses dentaires, etc. Le second après gâchage conduit à un matériau moins dense et peu résistant. Il est utilisé dans de nombreuses applications comme les enduits, plafonds, etc.

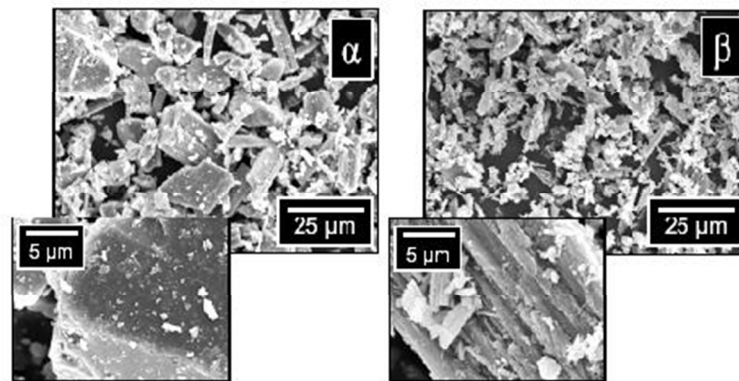


Figure I. 6 : Image MEB des plâtres prestia (Usine Meriel de groupe b La frage obtenus respectivement par voie humide (α) et par voie sèche (β) [6].

I.7.Le broyage

Après la cuisson, les pierres sont broyées selon 2 principes

I.7.1.Le broyage standard

Le plâtre est réduit en particules de 200µm grâce à un système de marteaux en rotation à l'intérieur d'un tamis (garantie d'une granulométrie maximale).

I.7.2.Le broyage/sélectage

Comme dans le broyage standard, le plâtre est broyé par des marteaux en rotation puis aspire à travers une « cage d'écureuil » en rotation. Selon son poids (donc sa taille), le grain de plâtre, soumis à 2 forces opposées (centrifuge et aspiration), traverse ou non la cage d'écureuil.

I.8.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 des surfaçages, ainsi et surtout les plâtres pour préfabrication, essentiellement utilisés pour la fabrication de carreaux de plâtre, d'éléments de cloison en plaques de parement [6].

Tableau I. 2 : Phases de déshydratation du gypse [7]

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	Semi-hydrateβ	Anhydrite III ou anhydrite soluble	AnhydriteII ou anhydrite insoluble	Anhydrite I
Système cristallin	monoclinique	rhomboédrique		hexagonal	orthorhombique	cubique à faces
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	172,2	145,15	145,15	136,1	136,1	136,1
Volume molaire	74,5	52,4	55,2	52,8	45,8 à 46,4	

I.8.1. Les propriétés physiques de plâtre

a) 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 :

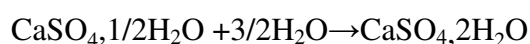
- reprise de l'eau pour reformer le dihydrate.
- cristallisation (qui constitue la prise proprement dite).
- durcissement.

La prise est la réaction inverse de la cuisson

La cuisson



Prise



I.8.2. 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 di-hydraté (sulfates – sauf sulfate de fer–, acides sulfurique, chlorhydrique ou nitrique, chlorures, bromures et iodures alcalins, bichromate de potassium)[8].

I.8.3. 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.
- absorption d'ions à la surface des cristaux de gypse en cours de croissance et incorporation de ces ions dans leur réseau.
- formation de complexe et 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 :

$H^+ > K^+ > Ca^{2+}$ [8].

I.8.4. 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 cellulose employées depuis les années 1960 : méthyl cellulose (MC), carboxy méthyl cellulose (CMC), et les autres dérivés hydroxy éthyl cellulose (HEC), hydroxy propyl cellulose, etc [8].

I.8.5.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. 3 : Propriétés caractéristiques des deux variétés usuelles de semi-hydrate [7]

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	0,63	0,74
À l'état sec		

I.8.6.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.

I.8.7. 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.

I.8.8. Résistance au feu

L'une des propriétés 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.

Ce comportement résulte des données suivantes :

- Le plâtre est incombustible.
- Mauvais conducteur de chaleur .
- Sous l'action de la chaleur, le plâtre durci ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) libère les 02 molécules d'eau contenues dans le déshydrate.

Tableau I.4 : Caractéristiques thermiques du plâtre [8]

Masse volumique sèche ρ (kg/m ³)	Conductivité thermique 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
600	0,18	1 000	10	4
900	0,3	1 000	10	4
1 200	0,43	1 000	10	4
1 500	0,56	1 000	10	4

I.9. Domaine d'utilisation des éléments à base de plâtre

Le plâtre, utilisé sous forme d'enduit ou de mortier pour assembler des ouvrages en maçonnerie, figure parmi les matériaux de construction traditionnels. L'utilisation contemporaine du plâtre procède pour beaucoup de transformations industrielles, avec les plaques et les carreaux de plâtre. [9]

Des applications nombreuses et très variées, pour la sécurité, la santé, l'esthétisme, la performance, le confort, dans le cadre de tout projet de construction du plus simple au plus complexe... Le plâtre est toujours la solution idéale. [9] Pièces humides :

- Plaques hydrofugées.
- Systèmes de protection contre l'incendie : plaques feu.
- Résistance aux chocs : plaques de très haute dureté.
- Absorption acoustique : plaques perforées.
- Isolation acoustique : plaques épaisses.
- Décoration : plaques pré-imprimées.



Figure I. 7 : Utilisations du plâtre [9]

I.10.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 [10].

I.11.Etude et composition de mortier de plâtre

Classiquement, un mortier est un simple mélange de liant (chaux ou ciment), de sable et d'eau. de façon à obtenir des plâtres amaigris ou mortiers de plâtre, Néanmoins, de nos jours, l'emploi d'adjuvants et de différentes additions minérales est obligatoire pour atteindre des propriétés souvent antagonistes et ainsi obtenir un comportement adéquat en fonction de l'application désirée et des performances souhaitées. 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.

Application du mortier :

Au cours des 40 dernières années, les mortiers sont devenus de plus en plus complexes.

Aujourd'hui, ils associent des liants hydrauliques et de multiples adjuvants. En France, leur utilisation n'a fait qu'augmenter depuis 1970, pour arriver à une production proche de quatre millions de tonnes en 2007. Par ailleurs, du fait de cette complexité, la part des mortiers fabriqués sur chantier n'a fait que diminuer au profit des mélanges réalisés en usine.

En Europe, la production de mortiers préformulés atteint 70 millions de tonnes contre 5 millions de tonnes pour les mortiers réalisés sur chantier. La fabrication en usine permet de doser, de façon précise et régulière, les dizaines de composants qui entrent dans la formulation des mortiers industriels et d'assurer un contrôle permanent de leurs caractéristiques. Les mortiers industriels sont présents dans tous les secteurs d'activité du bâtiment et des travaux publics. A chaque domaine d'application correspond un type de mortier pouvant être dédié à :

- la protection et la décoration (sous-enduits, enduits de parement colorés, enduits Mono couche),
- la pose des carrelages (mortiers colles et mortiers de joints),
- la préparation des sols (chapes, ragréages, enduits de lissage, d'égalisation),
- les assemblages (éléments de maçonnerie, fixation des éléments de cloisons et de doublage),
- l'isolation et l'étanchéité (systèmes d'isolation thermique par l'extérieur, D'imperméabilisation, d'étanchéité, d'isolation phonique, d'ignifugation),
- les travaux spéciaux (gunitage, réparations d'ouvrages d'art et de génie civil, scellement et calages, coulis d'injection, cuvelages).

-Bien que l'utilisation du plâtre il y a 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.

II .Introduction

Il ont cherché depuis longtemps à renforcer les matériaux de construction fragiles à l'aide de fibres de différentes natures, Citons par exemple, les briques en terres armées de pailles, le mortier de chaux armé de poils d'animaux, le plâtre armé de fillasse, etc. En rappelant que l'état fragile des matériaux correspond à une faible résistance à la traction, une faible énergie de rupture ou une faible plasticité en compression ou en traction.

Des fibres de toute nature ont été expérimentées dans le renforcement des matériaux. Les plus répondues sont : l'amiante, le verre, l'acier, le plastique (nylon et polypropylène), le carbone, et les fibres végétales. Pour cela nous avons confectionné des mortiers renforcés de fibres végétales, Nous exposons, ultérieurement en détail, les différents types de fibres notamment les fibres végétales utilisées dans la construction et dans les domaines pratiques. Dans un premier temps, et pour bien positionner le cadre scientifique de la recherche, nous allons commencer par donner la définition des fibres.

II.1.Les fibres

Généralement les fibres sont aussi utilisées pour définir le constituant élémentaire des structures textiles. Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte, de 20 à 150 mm, et la fibre de grande longueur ou filament continu.

Il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par leur origine (naturelles, artificielles et synthétiques), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leur dimension (macro ou micro - fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour des applications, il est nécessaire de tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et la mode de performance du composite.

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

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

II.2. Les fibres naturelles

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. En proportion relativement faible d'extractibles non azoté, de

matière protéique brute, de lipide et de matières minérales. Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante. [11].

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 aux 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 cellulosiques sont réunies en micro fibrilles 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 cellulosiques sont à la base des bonnes propriétés des fibres cellulosiques. Ce ces différences, constitutives ainsi qu'anatomiques, qui vont donner la grande variabilité des propriétés physico-mécaniques des fibres naturelles [12].

II.4. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres naturelles

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 elongation à la rupture et son module d'élasticité.

BLEDZKI et GASSAN [13], 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 au teneur en cellulose. Ainsi, ils ont remarqué que la résistance dépend de la forme spirale 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.

II.5. Caractéristiques chimiques des fibres naturelles

Les fibres végétales sont caractérisées par leur composition chimique qui influe 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 [13].

Le tableau II.1. présente la composition chimique de quelques fibres végétales (noix de coco, sisal, jute et palmier dattier) reproduit selon [14].

Tableau II.1: Composition chimique de quelques fibres végétales

Fibre	Composition (%)			
	Cendre	Cellulose	Hémi cellulose	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

Tableau II-2. Caractéristiques générales des fibres végétales [15].

Fibre	Longueur de la Fibre technique (mm)	Diamètre (μm)	Module de Traction (GPa)	Déformation maximale (%)
Genêt d'Espagne	50-120	5-10	22	2.5-12
Coton	25	12-23	6-10	6-8
Lin	4-8.5	12-30	50-70	1.3-3.3
Chanvre	5-40	16-50	30-60	1.7-2.7
Kénaf	2.5-4.5	14-33	60	1.7-2.1
Jute	2.5	5-25	20-55	1.5-2
Siale	100-125	100-400	9-22	3-14
Banane	4.5-10	50-250	7-20	1.8-3.5
Abaca	60	50-280	-	2.1-2.4

II.6. Domaine d'utilisation

L'utilisation des fibres végétale dans le domaine pratiqué est très ancienne. A titre d'exemple, la première utilisation des fibres végétales a été dans le domaine de textile et de production des cordes, ensuite dans la production de matériaux de construction composites à base de fibre naturelle et l'un des domaines les plus récemment exploité. En effet, plusieurs chercheurs révèlent que le renforcement d'une matrice à base de résine ou de plastique par des fibres naturelles donne de bon résultat tant sur le plan économique que sur le plan mécaniques.

Tableau II.3 : propriétés mécanique d'un matériau composé par 50% de fibres végétales et 50% de polypropylène (pp) [16].

Fibre/Matrice	Résistance à la traction (MPa)	Module de traction (GPa)	Résistance à la flexion (MPa)	Module de flexion (MPa)
Ramie/PP	34.67	3.43	29.33	3.02
Jute/PP	15.66	2.4	23.97	2.5
Curaua/PP	46.58	3.78	33.1	2.51

II.7. Utilisation des fibres naturelles dans le domaine de génie civile

L'utilisation de matériaux de construction renouvelables n'affait 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 enter recree. L'emploi de fibres d'abaca dans la production de matériaux de substitution de l'amiante 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 pétro chimiques, 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.

II.8.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 recyclable .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 II.4 ci-dessous :

Tableau II.4 : 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 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 reproduite	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	

II.9. Les fibres synthétiques

II.9.1. Généralités

Cette catégorie est apparue à la fin des années 30. Certaines de ces fibres furent découvertes, par accident, lors de recherches sur les explosifs (plastiques). Les **polyamides** ont été les premières fibres synthétiques à prendre d'assaut le marché et les magasins.

Les « nylons » étaient alors des bas bien populaires et beaucoup plus durables que les bas en soie. L'effort de guerre donna un élan aux fibres synthétiques puisque certaines fibres naturelles devaient être remplacées. Par exemple, la soie servant à faire des parachutes se faisait plus rare puisque les routes d'approvisionnement étaient bloquées. Le **polyester** arriva rapidement sur le marché, suivi par plusieurs autres fibres telles que l'**acrylique** pour remplacer la laine.

II.9.2. Les fibres synthétiques

Les fibres synthétiques servent essentiellement à fabriquer des vêtements. Pour fabriquer des fils synthétiques, on utilise des polymères. Ces chaînes de molécules sont fondues pour ensuite être transformées en fils. La première fibre plastique commercialisée en 1938 est le nylon depuis de nombreux tissus synthétiques ont fait leur apparition, entre autres les fibres acryliques, l'aramide, l'oléfine et le polyester.

Le **nylon** est une matière plastique de type polyamide utilisée comme fibre textile. Tissé avec un fil plat non texturé, il sert pour les doublures, les blouses, les tabliers, les vêtements de sport, les imperméables, les jupes et les chemises plissées et la lingerie. Tissé avec un fil texturé, il sert pour les bas, les collants, les chaussettes, les cols roulés, les maillots de bain, etc.

Le **polyester** est la fibre synthétique la plus produite dans le monde. Il sert notamment à la confection de vêtements de sport et de maillots de bain. On le mélange souvent à d'autres fibres, en particulier le coton.

L'**acrylique** est une fibre dont on se sert pour imiter ou remplacer les laines, notamment le cachemire. Il s'agit d'une fibre très légère, agréable à porter qui ne craint pas les intempéries.

Le **spandex** (appellation commerciale : **Lycra**) est une fibre de polyuréthane qui s'étire aisément et qui, même très ajustée, ne gêne pas les mouvements. On l'utilise dans la fabrication des vêtements de sport, des Soutien-gorge et des maillots de bain. On utilise la fibre **oléfine** dans la fabrication des vêtements de sport, des doublures et des vêtements chauds. Hydrophobe, elle assure un séchage rapide.

La fibre **ingéo** est produite à partir du maïs. C'est un exemple de fibre synthétique fabriquée de façon propre, car tout au long de sa chaîne de production, elle est fabriquée dans le respect de l'environnement.

Elle conjugue les qualités d'une matière naturelle avec les avantages d'une matière synthétique : elle régule l'humidité, absorbe peu les odeurs, résiste aux UV et présente une faible inflammabilité.

II.10. Les types des fibres

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

Ainsi l'adoption d'une fibre influencera les facteurs suivants:

- Densité,
- Résistance tension et en compression,
- Résistance aux impacts et à la fatigue,
- Module d'élasticité,
- Conductivités thermique et électrique,
- Stabilité dimensionnelle,
- Résistance aux conditions environnementales,
- Coût,

II.11. Les Différents Types de Fibres

❖ Les fibres de verre « E » et « AR »

Les fibres « E » sont les fibres de verre classique à forte teneur en bore elles présentent de bonnes caractéristiques mécaniques, mais sont sensibles aux alcalis libères par l'hydratation du ciment.

Leur emploi dans le béton nécessite donc l'incorporation de polymères ou autres ajouts au mélange, au moment du gâchage qui ont pour fonction d'enrober la fibre et de la protéger de l'attaque alcaline.

Les fibres **AR** (alcali-résistantes) sont obtenues avec un verre riche en zirconium moins sensible aux alcalis.

Un traitement d'ensimage (dépôt d'un produit de protection) améliore encore leur tenue.

Propriétés des fibres de verre

- Les caractéristiques mécaniques élevées de ces fibres ont déjà été mentionnées 3000 MPa pour la résistance à la traction.
- Il faut également souligner leur excellente résistance au feu (jusqu'à 800 C) ce critère ajouté a un coefficient de dilatation du même ordre que celui de la pâte de ciment confère aux bétons de fibres de verre une bonne résistance au feu.
- Les essais en cours doivent permettre d'améliorer l'évolution des caractéristiques du béton de fibres de verre lors de son vieillissement.



Figure II. 1 : Fibres de verre.

Les avantages et désavantages des fibres de verre peuvent être résumés comme suit :

Avantages

- Coût faible,
- Grande résistance en tension,
- Grande résistance aux produits chimiques,
- Excellent isolant,
- Grande ténacité,
- Excellente résistance aux impacts,
- Module d'élasticité faible (réduit perte de précontrainte),
- Bonne fiabilité.

Désavantages

- Densité élevée (par rapport aux autres fibres),
- Sensibilité à l'abrasion,
- Faible module d'élasticité (grande déformation),
- Faible résistance à la fatigue,

- Grande dureté (usure des instruments de fabrication),
- Faible résistance aux charges cycliques ;
- Corrosion possible aux alcalis et aux acides hydro fluoriques
- Vieillessement à l'humidité.

❖ **Fibres d'acier**

Les fibres d'acier, qui sont sans doute les plus utilisées dans le domaine du génie civil, ont fait l'objet de plusieurs recherches. En effet, les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion inter faciale entre fibre et matrice.

Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre. Il existe de nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leur section (ronde, carrée, rectangulaire), leur diamètre, leur longueur et leurs modes d'élaboration. Elles peuvent être rectilignes, ondulées, ou présenter des élargissements aux extrémités, soit en crochets pour améliorer l'accrochage dans le même but, elles peuvent présenter des aspérités, des crans surfaces.

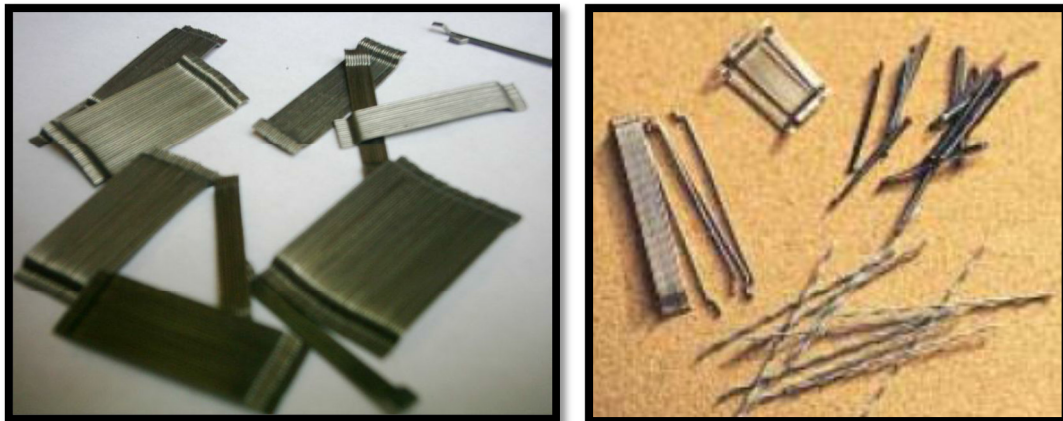


Figure II. 2 : Fibres métalliques

Les fibres métalliques notamment d'acier ont donné lieu à de nombreuses recherches pour développer leur emploi dans le béton.

A recherche de l'adhérence au béton a donné naissance à une grande variété de fibres susceptibles, par leur forme ou leur état de surface, de mieux s'ancrer dans le béton :

- fils étirés et coupés, ondulés crantes, torsadés, avec crochets
- fibres usinées à surface rugueuse

- fibre de fonderie la fibre de fonte se présente sous forme d'un mince ruban de 30 μm d'épaisseur.

Les fibres métalliques sont de types et de formes variées et présentent une très bonne compatibilité avec le béton. Les fibres sont composées d'acier au carbone, d'acier inoxydable ou d'acier galvanisé contre la corrosion. En général, la longueur des fibres varie de 25 à 60 mm et le diamètre varie de 0,5 à 1,3 mm. La fabrication des fibres métalliques s'effectue selon plusieurs méthodes en relation avec leurs formes géométriques multiples (ASTM A 820)

La résistance en traction de ces fibres varie généralement entre 1000 et 3000MPa, mais cette résistance est rarement utilisée dans le composite dû au phénomène de pull – out des fibres.

Propriétés des fibres métalliques

Elles présentent une très bonne compatibilité avec le béton, certaines fibres sont inoxydables ou traitées contre la corrosion, en vue de certains usages particuliers

Applications

Du fait de leurs propriétés, les fibres trouvent un vaste domaine d'applications là où on veut réduire les risques de fissuration, espacer les joints de retrait, augmenter la résistance aux chocs et tirer parti de l'amélioration de la résistance en traction pour diminuer le dimensionnement des pièces :

- dallages, parkings, pistes
- bétons projetés en galeries, tunnels, talus
- éléments préfabriqués divers : tuyaux, caniveaux, garages
- pieux de fondation

❖ Fibres de carbone

Le carbone est très dispendieux ce qui le rend beaucoup moins populaire que le verre. Moins disponible sur le marché, les fibres de carbone sont cependant reconnues comme étant les fibres les plus performantes.

Les types de fibres de carbone sont classés selon leurs propriétés mécaniques. Ces propriétés dépendent des cycles de pyrolyse ainsi que de la nature du précurseur.

On distingue deux types de fibres divisés en quatre grandes classes de fibres.

🚦 Les types I

Sont les types hauts modules soient les classes UHM (ultra haut module) et HM (haut module),

✚ Les types II

Sont les types hautes résistances soient les classes I THR ou VHS (Très haute résistance ou very high strength) et HR ou HS (haute résistance ou high strength).

En général, Les fibres de faible module ont une densité et un coût plus faible ainsi qu'une résistance en tension et une déformation aux ruptures plus grandes que les fibres de hauts modules.

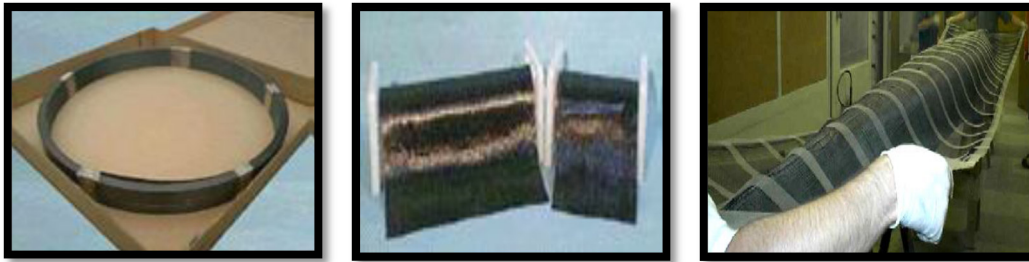


Figure II. 3 : Fibres de carbone.

Les avantages et désavantages des fibres de carbone peuvent être résumés comme suit :

- Grande résistance en tension et en compression,
- Excellente tenue à haute température,
- Grande résistance à la fatigue,
- Excellente rigidité,
- Bonne conductivité électrique et thermique,
- Inertie complète à la corrosion et aux produits chimiques (sauf O₂ et acides

Oxydant sa chaud),

- Insensibilité à l'humidité et aux rayures,
- Faible coefficient de dilatation,
- Usinage facile.

Désavantages

- Coût élevé,
- Corrosion de contact par pile galvanique avec les métaux,
- Sensibilité aux impacts et à l'abrasion,
- Faible ténacité,
- Mauvais isolant,

- Faible allongement et rayon de courbure ;
- Raideur à l'enroulement (bobinage difficile).

❖ **Fibres de polypropylène**

Les fibres de polypropylène sont fabriquées depuis 1954 par l'industrie textile.

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfinés des produits chimiques. Il a connu une extension croissante dans ce domaine où il apporte les avantages suivants : déformabilité élevée, imputrescibilité et bonne résistance en traction qui peut atteindre 800 MPa.

Ces fibres sont utilisées dans les bâtiments pour l'élaboration de revêtement de façades dans plusieurs constructions (Londonderry House Hôtel), ainsi que l'élaboration de panneaux décoratifs de 33cm d'épaisseur et aussi dans la réalisation des canalisations et des pieux.

Les fibres de polypropylène sont en général assez longues (30 à 60 mm), légères et ne sont pas attaquées par le ciment. Leur module d'élasticité plus faible que la pâte durcie.

Il convient de les utiliser de préférence pour les pièces minces devant résister, soit à l'action corrosive de certaines ambiances dans lesquelles l'acier pourrait se corroder rapidement, soit aux chocs mécaniques.



Figure II. 4 : fibres polypropylène.

✚ **Propriétés des fibres de polypropylène**

Si leurs caractéristiques mécaniques ont des valeurs plus faibles que celles des fibres métalliques, il faut cependant mentionner leur insensibilité chimique, leur souplesse, qui rend aisée leur incorporation au béton et leur allongement à la rupture (15 à 20 %), qui favorise la « ductilité » du béton.

Comme la plupart des matières plastiques, les fibres de polypropylène sont peu résistantes au feu : leur température de fusion est d'environ 160 C mais leur fusion n'affecte pas la résistance du béton

❖ La fibre d'alfa

L'Alfa est une herbe vivace typiquement méditerranéenne, elle pousse en touffes d'environ 1m à 1m20 de haut formant ainsi de vastes nappes. Elle pousse spontanément notamment dans les milieux arides et semi arides, elle délimite le désert, là où l'Alfa s'arrête, le désert commence figure II.5 [17].



Figure II. 5 : Illustrations de la plante d'Alfa à l'état brut

II.12. Le feillard en plastique

Le feillard en plastique comprend deux types de feillards différents :

II.12.1. Le feillard polypropylène PP

Très économique, le feillard en polypropylène (PP) est à privilégier pour le cerclage de colis ou de palettes relativement légers (350 Kg maximum). Son principal atout est d'être souple et donc facile à utiliser. Il est également très résistant à la rouille et aux variations de température. Il peut servir à sécuriser des produits fragiles ou à empêcher le vol de produits de valeur ou bien servir au stockage de marchandises mais seulement pour une courte durée.

Il peut le dérouler manuellement ou bien à l'aide d'un tendeur électrique ou d'une autre machine. Le feillard de cerclage PP est un feillard synthétique pour des applications manuelles et automatiques. Ce feillard PP bon marché et sûr est utilisé pour le cerclage de boîtes en carton, colis et charges moyennes de palettes. Souple, léger et maniable : s'adapte à toutes les formes d'emballages sans les détériorer. La résistance à la rupture est déterminée par la largeur et l'épaisseur de la bande.

II.12.2. Le feillard polyester PET

Le feillard en polyester (PET) est parfait pour le cerclage de charges relativement lourdes (jusqu'à 550 kg ou 1000 kg selon les modèles) ou compressibles comme le bois, le carton (mis à plat) et les matériaux de construction. Grâce à sa très grande résistance et à sa souplesse, il protège efficacement les marchandises emballées face aux chocs rencontrés sur la route. De plus, ce feillard polyester permet une manipulation facile et sûre. Il résiste à l'humidité, aux UV et à une température maximale de 80°C. Il ne rouille pas et ne se déforme pas. Il peut également servir au stockage de longue durée des marchandises.

Enfin, il peut être appliqué sur la charge à cercler manuellement ou à l'aide d'une machine pneumatique ou d'un tendeur électrique.

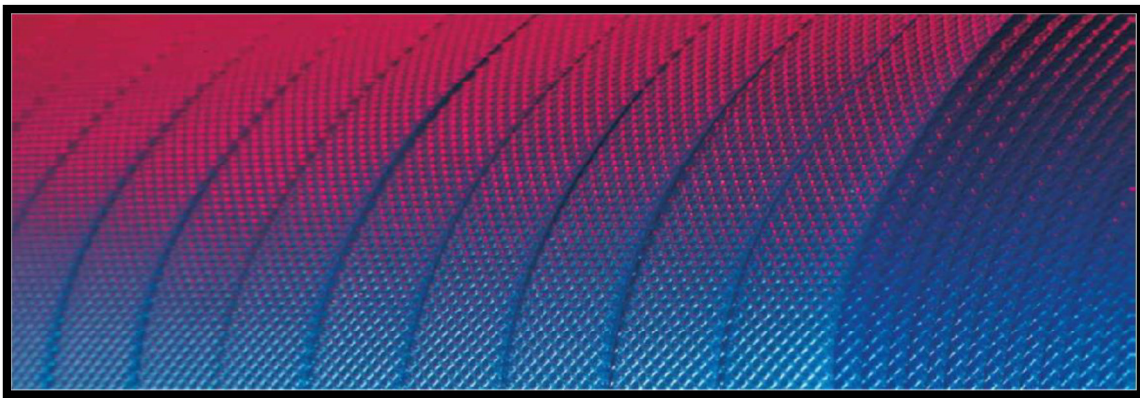


Figure II. 6 : *[Strapex]* Feuillards plastiques pour le cerclage



Figure II. 7 : Feuillards étroits en Polypropylène PP.

De nombreux avantages parlent en faveur des feuilards de cerclage Strapex :

Feuilards étroits en Polypropylène PP

- Pour colis légers pesant jusqu'à 30 kg.
- Pour paquets, colis en vrac ainsi que pour journaux et magazines.
- Assurent la sécurité contre le vol pour les produits de valeur.
- Sécurisent le transport des produits délicats.
- Pour un cerclage manuel ou à la machine.
- Supportent des écarts de températures allant de -18°C bis $+50^{\circ}\text{C}$.
- La solution industrielle universelle pour la logistique et la sécurité du transport.

Feuilards haute résistance en Polyester PET

- Pour la sécurité du transport des marchandises sur palettes de tout type.
- Grâce à leur résistance aux UV, peut s'employer pour les produits stockés en plein air.
- Supportons-les :
 - Contraintes liées au maniement et au transport, comme secousses etc.
 - Influences climatiques comme l'humidité ou les écarts de températures allant de (-30°C) à $(+80^{\circ}\text{C})$ (rétractation ou dilatation des colis).
- Pour un cerclage manuel ou à la machine.
- L'alternative qui l'emporte sur les feuilards en acier :
 - Économie de coûts.
 - Colis moins endommagés (surface, arêtes).
 - Réduction du danger de se blesser en coupant le feuilard.
 - Réduction du danger de se blesser en coupant le feuilard.

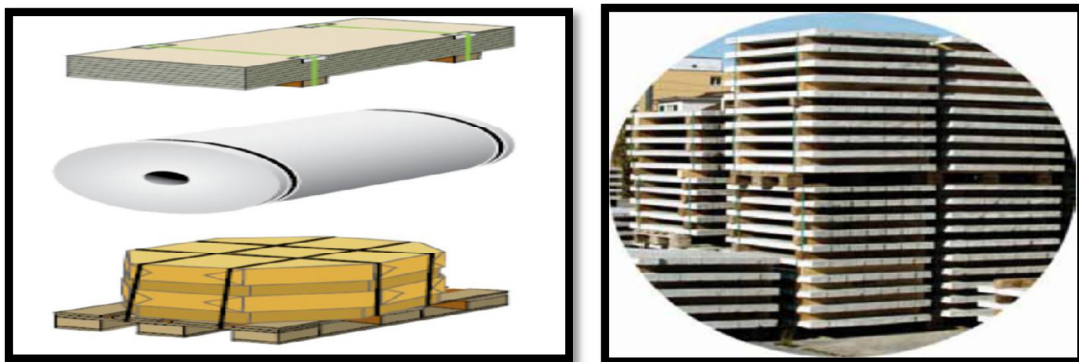
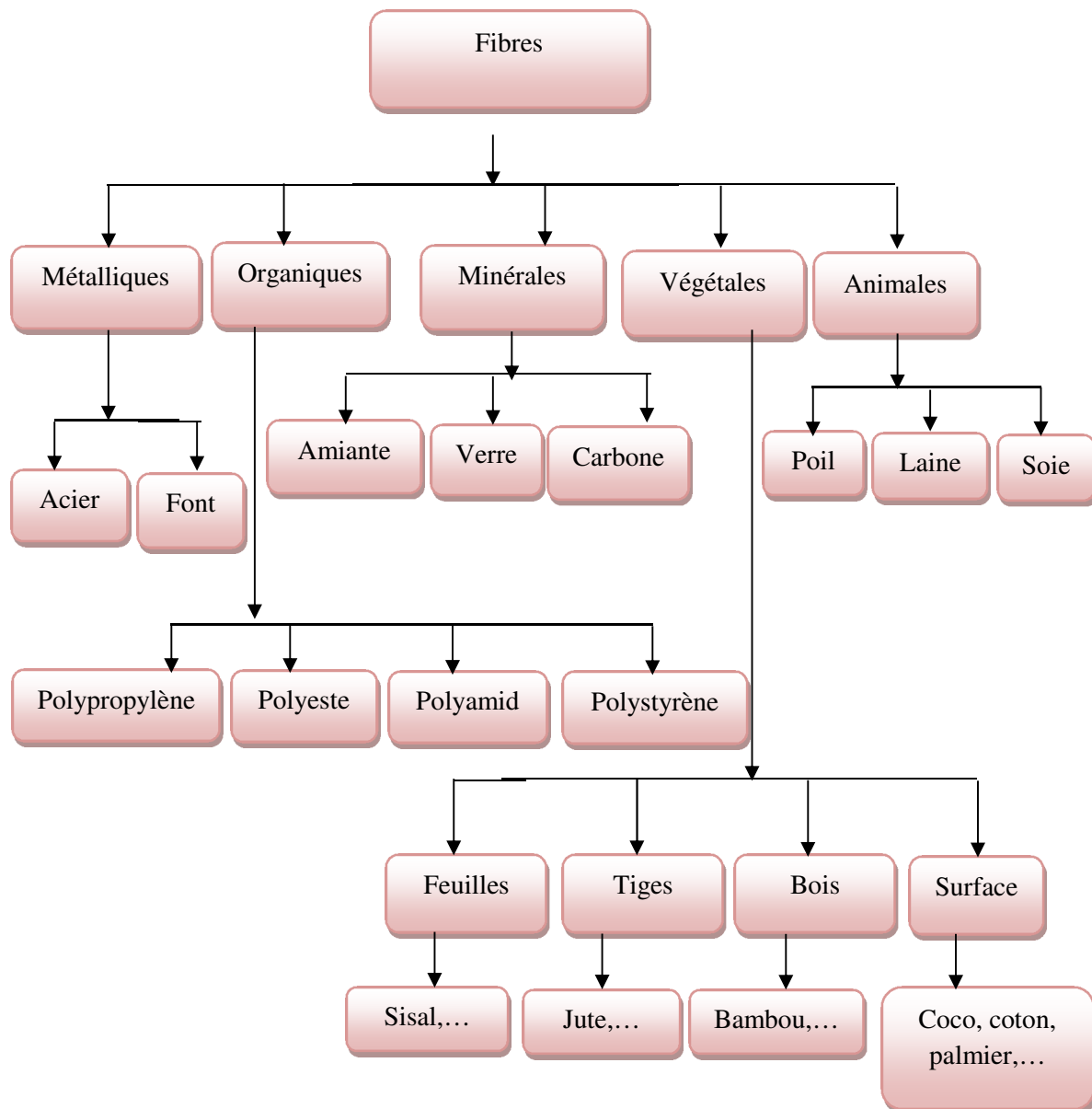


Figure II. 8 : Feuilard en polyester Haute résistance PET

❖ Les différents types de fibres

**II.13. LES CARACTÉRISTIQUES D'UNE FIBRE**

Il y a trois caractéristiques importantes à connaître d'une fibre :

✚ La longueur

la fibre fait au moins mille fois son diamètre, Cette caractéristique est requise afin de procurer la cohésion nécessaire pour en faire un fil ou une étoffe.

✚ Le diamètre

la fibre doit être relativement petite soit 5 à 500 microns. Un micron est un micromètre (μm), soit un millième de millimètre. Cette finesse est requise notamment pour permettre l'assemblage de plusieurs fibres afin de garder une épaisseur mince et convenable.

La flexibilité

la fibre est flexible et ne casse pas lorsqu'elle est pliée ou manipulée. Cette flexibilité lui permet de supporter les étapes de production nécessaires afin de donner une étoffe qui sera durable et souple, selon les spécifications requises.

Bien qu'il existe d'autres caractéristiques, ces dernières sont considérées comme universelles et essentielles.

II.14. La dispersion et l'orientation de la fibre

Il est évident que la dispersion du renfort qui conduit à un mélange plus ou moins intime des composants est un paramètre qui influence les propriétés physico-mécaniques du matériau composite. Cependant, les dimensions ne sont pas les seuls paramètres qui diffèrent, en effet, ceux-ci induisent l'orientation de ces fibres dans le polymère. La dispersion du renfort conduit à un mélange plus ou moins homogène des composants, ce paramètre influence les propriétés. En effet, les fibres ont tendance à se regrouper et à s'agglomérer ce qui crée des hétérogénéités. L'orientation des fibres génère une anisotropie, qui détermine des «Axes forts » pour le polymère, selon lesquelles les fibres seront sollicitées longitudinalement (direction la plus résistante de la fibre).

Raj et ses collaborateurs [18] ont étudié l'influence du traitement de la surface du renfort fibreux par l'acide stéarique, l'huile minérale et par l'agent de couplage polypropylène greffé par l'anhydride maléique (PP-g-AM) sur les propriétés des composites polypropylène/fibres cellulosiques. Ils ont utilisé des taux de fibres de 10, 20, et 30 % et ont varié la concentration de l'agent de couplage de 0.5, 1 et 1.5 %. La résistance à la rupture et le module d'Young des composites ont augmenté avec le taux de fibres, lorsque l'acide stéarique et l'huile minérale sont utilisés à une concentration de 1 (% m) durant la transformation. L'acide stéarique a donné une meilleure amélioration de la dispersion des fibres dans les composites comparé à l'huile minérale.

L'orientation des fibres est un autre facteur important qui influe sur le comportement des composites. Car les fibres sont rarement orientées dans les matériaux composites en une seule direction, laquelle est nécessaire pour que les fibres donnent un effet de renforcement maximal. Le degré de renforcement dans les composites à base des fibres courtes, dépend beaucoup de l'orientation individuelle de chaque fibre par rapport à l'axe d'étirement.

Le changement de l'orientation des fibres se fait continuellement et progressivement

durant la transformation du matériau composite à fibres courtes. Elle est reliée aux propriétés géométriques des fibres, les propriétés viscoélastiques de la matrice et la variation de la forme du matériau qui est produit par l'opération de transformation [19].

II.15. Influence de la morphologie des fibres

La morphologie des fibres inclut aussi d'autres paramètres que la longueur des fibres, comme leur diamètre, l'épaisseur des cellules et le diamètre des lumens.

Ces paramètres varient tous à divers niveaux, en fonction de la nature des fibres. Les fibres de bois sont caractérisées par un rapport L/D élevé, mais sont souvent réduites en farine pour en faire des composites bois/polymère. La réduction de la taille des fibres en farine favorise l'écoulement du mélange bois/polymère et augmente du même coup le retrait au moulage.

Les traitements de surface des fibres réduisent considérablement le rapport (L/D), mais augmentent considérablement l'adhésion et les propriétés mécaniques [20].

II.16. Conclusion

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

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

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

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

Particulièrement pour les pays en voie de développement qui possèdent une grande

richesse en fibres naturelles, l'avenir en terme de renforcement sera attribué aux fibres naturelles, ou bien à la limite pour les fibres composites (polymère-végétales).

Ainsi, il est tant d'orienter les axes de recherches vers la valorisation des fibres naturelles dans la construction d'une façon générale et le béton d'une façon particulière.

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

Revue de la littérature

Le nombre d'études concernant les composites utilisant comme renfort des fibres naturelles est en continuelle augmentation et leur développement représente un enjeu important. Cette revue de la littérature mettra en évidence les connaissances acquises de façon générale, et par la suite, s'intéressera particulièrement à l'optimisation de leurs propriétés.

III. Généralités sur les composites de fibres naturelles

III.1. Historique [21]

La combinaison de fibres naturelles avec d'autres matériaux pour former des composites ne date pas d'aujourd'hui. En effet, dans les années 1500 avant Jésus-Christ, les premiers Égyptiens et les colons mésopotamiens utilisaient déjà un mélange d'argile et de paille pour construire des bâtiments rigides et durables. La paille a continué à servir de renfort aux produits composites antiques comprenant la poterie et les pirogues.

Plus tard, en l'an 1200 après Jésus-Christ, les Mongols ont inventé le premier arc composite. Utilisant une combinaison de bois, d'os, et «de colle animale», des arcs ont été pressés et enveloppés avec de l'écorce de bouleau. Ces arcs étaient extrêmement puissants et précis. Les arcs composites mongoliens ont fourni à Genghis Khan la domination militaire et, en raison de la technologie composite, cette arme était la plus puissante sur terre jusqu'à l'invention de la poudre à canon. Avec le développement de matériaux plus durables tels que les métaux, l'intérêt pour les matériaux «naturels» avait significativement diminué. Il a fallu attendre le début des années 1900 lorsque les matériaux naturels ont de nouveau émergé comme matériaux du futur, pour qu'ils soient utilisés dans les applications automobiles [21].

Dans les années 1930, Henry Ford est entré dans le laboratoire de recherche de sa compagnie avec un sac d'os de poulets, les a vidés sur le bureau, et a demandé aux techniciens de déterminer ce qu'ils pouvaient en faire. Ils ont répondu en expérimentant avec une variété de matériaux naturels comprenant cantaloups, carottes, maïs, choux et oignons dans la recherche de matériaux pour construire une carrosserie organique de voiture. Par la suite, en 1940, les scientifiques de Ford ont découvert que l'huile de soja pouvait être employée pour faire de la peinture émaillée de haute qualité et également moulée dans un plastique à base de fibres. La compagnie a revendiqué une résistance aux chocs de son matériau 10 fois supérieure à celle de l'acier. Henry Ford se plaisait à démontrer la résistance du matériau en martelant un couvercle de coffre de soja avec une hache. Ce matériau n'a pas survécu avec le temps en raison d'une longue période pour le durcissement et la difficulté pour le moulage.

En 1941, les composites, particulièrement ceux basés sur les fibres naturelles comme renfort, ont reçu une attention particulière, Ils ont été utilisés pour fabriquer les sièges, les roulements et les fuselages dans les avions de même que les roulements dans les navires pendant la deuxième guerre mondiale, en raison de la faible quantité d'aluminium à cette époque. Un exemple était le «Gordon-Aerolite», un composite unidirectionnel composé de fil de lin écru imprégné de résine phénolique et pressé à chaud. Ce composite était utilisé dans le fuselage des avions. Un autre exemple est un composite polymère/coton qui était, semble-t-il, le premier plastique renforcé de fibres employé par les militaires pour les radars d'avions.

En 1942, Henry Ford a développé le premier prototype de voiture composite fabriquée à partir de fibres de chanvre, qui n'a malheureusement pu être produite à grande échelle en raison de la limitation économique à l'époque.

En Europe, la carrosserie de la voiture Est-allemande «Trabant» produite entre 1950 et 1996, a été l'une des premières à être construite avec des matériaux contenant des fibres naturelles. Dans ce cas, les fibres de coton ont été introduites dans une matrice de polyester [21]. Depuis lors, les fibres naturelles ont continué à croître dans la fabrication de diverses parties de voitures. Daimler-Benz a exploré l'idée de remplacer les fibres de verre par les fibres naturelles dans les composants automobiles depuis 1991. Une filiale de la compagnie, Mercedes-Benz, a valorisé ce concept avec le «Beleem project» à São Paulo, Brésil. À cet effet, les fibres de coco étaient utilisées dans les véhicules commerciaux sur une période de 9 ans. Mercedes a été le premier à utiliser des panneaux de porte à base de fibres de jute dans son véhicule de classe E, en 1996. Par la suite, en septembre 2000, Daimler Chrysler a commencé à employer des fibres naturelles (sisal) dans la production de véhicules basés à l'ouest de Londres et en Afrique du Sud.

En Amérique du Nord, plus précisément aux États-Unis, les composites de fibres naturelles ont véritablement pris de l'ampleur au début des années 1980 avec l'utilisation des fibres de bois [22]. En 1983, la compagnie American Woodstock du Wisconsin entreprend la première application industrielle d'importance des composites bois/plastiques. Il s'agit de l'extrusion de panneaux de polypropylène contenant environ 50% de farine de bois pour le domaine de l'automobile. La première conférence internationale sur les composites bois/plastiques a lieu en 1991 à Madison au Wisconsin également, permettant une meilleure synergie entre la foresterie et la plasturgie. Depuis lors, les composites de fibres naturelles (fibres de bois) ont évolué et L'histoire a vu de nombreuses tentatives d'intégrer les composites de fibres naturelles dans les composants automobiles. Certaines ont eu plus de succès que d'autres. Cependant, ces dernières décennies, il y a eu une évolution remarquable

de ces matériaux avec des applications diversifiées (construction, sport, aéronautique, électrique et électronique, etc.) et une diversité de fibres potentiellement utilisables (lin, chanvre, kenaf, palmier à huile, etc.). Certaines nouvelles applications exigent des performances de haute qualité pour ces matériaux et les consommateurs ont des attentes concernant les coûts des produits dérivés. Dans ce travail, on tentera donc de répondre à ces deux préoccupations. Sont principalement utilisés dans le domaine de la construction [21].

III.2.Définition

Dans un sens large, le mot “composite” signifie “constitué de deux ou plusieurs parties différentes”. En fait, l'appellation *matériau composite* ou *composite* est utilisée dans un sens beaucoup plus restrictif, qui sera précisé tout au long de ce chapitre. Nous en donnons pour l'instant la définition générale suivante. Un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux matériaux de natures différentes, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément. Des exemples de matériaux composites pris au sens large sont donnés au tableau III.1

Tableau III. 1 : Exemples de matériaux composites, pris au sens large. [23]

Type de composite	constituants	Domaine d'application
1. Composites à matrice organique : - Papier, carton - Panneaux de particules - Panneaux de fibres - Toiles enduites - Matériaux d'étanchéité - Pneumatiques - Stratifiés - Plastiques renforcés	Résine/charges/fibres cellulosiques Résine/copeaux de bois Résine/fibres de bois Résines souples/tissus Elastomères/bitume/textiles Caoutchouc/toile/acier Résine/charges/fibres de verre, de carbone, etc. Résines/microsphères	Imprimerie, emballage, etc. Menuiserie Bâtiment Sports, bâtiment Toiture, terrasse, etc. Automobile Domaines multiples
2. Composites à matrice minérale : - Béton - Composite Carbone carbone - Composite céramique	Ciment/sable/granulats Carbone/fibres de carbone Céramique/fibres céramiques	Génie civil Aviation, espace, sports, bio-médecine, etc. Pièces thermo-mécaniques
3. Composites à matrice métallique	Aluminium/fibres de bore Aluminium/fibres de carbone	Espace
4. Sandwiches Peaux Ames	Métaux, stratifiés, etc. Mousses, nids d'abeilles, balsa, plastiques renforcés, etc.	Domaines multiples

III.3. Caractéristiques générales

Un matériau composite consiste dans le cas le plus général d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. Dans le cas de plusieurs phases discontinues de natures différentes, le composite est dit hybride.

La phase discontinue est habituellement plus dure avec des propriétés mécaniques supérieures à celles de la phase continue.

La phase continue est appelée la *matrice*. La phase discontinue est appelée le *renfort* ou *matériau renforçant*. Une exception importante à la description précédente est le cas de polymères modifiés par des élastomères, pour lesquels une matrice polymère rigide est chargée avec des particules élastomères. Pour ce type de matériau, les caractéristiques statiques du polymère (module d'Young, contrainte à la rupture, etc.) ne sont pratiquement pas modifiées par l'adjonction de particules élastomères, alors que les caractéristiques au choc sont améliorées.

Les propriétés des matériaux composites résultent :

- des propriétés des matériaux constituants,
- de leur distribution géométrique,
- de leurs interactions, etc.

III.4. CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX COMPOSITES

Les composites peuvent être classés suivant la forme des composants ou suivant la nature des composants.

- **Classification suivant la forme des constituants**

En fonction de la forme des constituants, les composites sont classés en deux grandes classes : les matériaux composites à particules et les matériaux composites à fibres.

III.4.1. Composites à fibres

Un matériau composite est un composite à fibres si le renfort se trouve sous forme de fibres. Les fibres utilisées se présentent soit sous forme de fibres continues, soit sous forme de fibres discontinues : fibres coupées, fibres courtes, etc. L'arrangement des fibres, leur orientation permettent de moduler à la carte les propriétés mécaniques des matériaux composites, pour obtenir des matériaux allant de matériaux fortement anisotropes à des matériaux isotropes dans un plan. Le concepteur possède donc là un type de matériau dont il peut modifier et moduler à volonté les comportements mécanique et physique en jouant sur :

- la nature des constituants,
- la proportion des constituants,

- l'orientation des fibres,
- suivant le cahier des charges imposées.

L'importance des matériaux composites à fibres justifie une étude exhaustive de leurs comportements mécaniques. En conséquence, le présent ouvrage sera essentiellement consacré par la suite à l'étude de ce type de matériaux.

III.4.2. Composites à particules

Un matériau composite est un composite à particules lorsque le renfort se trouve sous forme de particules. Une particule, par opposition aux fibres, ne possède pas de dimension privilégiée. Les particules sont généralement utilisées pour améliorer certaines propriétés des matériaux ou des matrices, comme la rigidité, la tenue à la température, la résistance à l'abrasion, la diminution du retrait, etc. Dans de nombreux cas, les particules sont simplement utilisées comme charges pour réduire le coût du matériau, sans en diminuer les caractéristiques.

Le choix de l'association matrice-particules dépend des propriétés souhaitées. Par exemple, des inclusions de plomb dans des alliages de cuivre augmenteront leur facilité d'usinage. Des particules de métaux fragiles tels le tungstène, le chrome et le molybdène, incorporé dans des métaux ductiles, augmenteront leurs propriétés à températures élevées, tout en conservant le caractère ductile à température ambiante.

III.5. Classification suivant la nature des constituants

Selon la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés suivant des composites à matrice organique, à matrice métallique ou à matrice minérale. Divers renforts sont associés à ces matrices. Seuls certains couples d'associations ont actuellement un usage industriel, d'autres faisant l'objet d'un développement dans les laboratoires de recherche.

Parmi ces composites, nous pouvons citer :

1. Composites à matrice organique (résine, charges), avec :

- des fibres minérales : verre, carbone, etc.
- des fibres organiques : Kevlar, polyamides, etc.
- des fibres métalliques : bore, aluminium, etc.

2. Composites à matrice métallique (alliages légers et ultra-légers d'aluminium, de magnésium, de titane), avec :

- des fibres minérales : carbone, carbure de silicium (SiC),
- des fibres métalliques : bore,
- des fibres métallo-minérales : fibres de bore revêtues de carbure de silicium (BorSiC).

3. Composites à matrice minérale (céramique), avec :

- des fibres métalliques : bore,
- des particules métalliques : cermets,
- des particules minérales : carbures, nitrures, etc.

Les matériaux composites à matrice organique ne peuvent être utilisés que dans le domaine des températures ne dépassant pas 200 à 300 °C, alors que les matériaux composites à matrices métallique ou minérale sont utilisés au-delà : jusqu'à 600 °C pour une matrice métallique, jusqu'à 1000 °C pour une matrice céramique. [23]

III.6. Matières premières des composites de fibres naturelles

Un matériau composite peut être défini comme étant un assemblage d'au moins deux composants, non miscibles et à structures différentes, où les qualités individuelles se combinent et se complètent en donnant un matériau dont les performances globales sont améliorées. Il est constitué dans le cas le plus général d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. La phase discontinue, appelée renfort ou matériau renforçant, est habituellement plus rigide et plus résistante avec des propriétés mécaniques supérieures à celles de la phase continue, appelée matrice [24].

III.7. Les renforts

Dans les composites, les renforts assurent la tenue mécanique du matériau. Ils sont généralement sous forme de fibres et contribuent à améliorer la résistance mécanique et la rigidité de la pièce dans laquelle ils sont incorporés. Ils sont différents des charges, qui sont sous forme d'éléments fragmentaires, de poudres ou de liquides, et qui modifient une propriété de la matière à laquelle ils sont ajoutés (par exemple la tenue aux chocs, la résistance aux UV, le comportement au feu, etc.) [24]. Comme leur nom l'indique, les renforts d'origine naturelle sont des matériaux renouvelables, neutres en CO₂, pouvant fournir des propriétés de renfort dans les composites et/ou agir comme charges pour réduire la consommation de matière pétrochimique en matières plastiques de base. En général, les fibres naturelles sont classées en trois grands groupes selon leur origine :

- les fibres végétales qui comprennent:
 - les fibres provenant des poils séminaux de graines (coton, kapok);
 - les fibres libériennes extraites des tiges de plantes (lin, chanvre, jute, ramie);
 - les fibres dures extraites de feuilles (sisal), de troncs (chanvre de manille), et d'enveloppes de fruits (noix de coco).
- les fibres animales qui proviennent des poils (toison animale) et des sécrétions (soie);

- les fibres minérales telles que le basalte et l'amiante.

III.8.Optimisation des performances des composites de fibres végétales

Comme il a été mentionné auparavant, les fibres naturelles d'origine végétale (fibres lignocellulosiques) sont les plus utilisées comme renforts dans les composites, en raison de leurs propriétés mécaniques intéressantes. Ainsi, les informations développées dans la suite du document concernent les composites de fibres végétales. Pour proposer de nouvelles solutions d'amélioration des performances des composites, qui représente l'un des défis majeurs à relever actuellement, les problèmes qui affectent ces performances et les solutions disponibles pour résoudre ou limiter ces problèmes doivent nécessairement être connus.

Ainsi, des nombreuses études disponibles dans la littérature, la synthèse suivante peut être effectuée.

III.9.Principaux avantages et inconvénients des matériaux composites à charges végétales

L'utilisation des matériaux composites à fibres végétales sous différentes conditions environnementales est devenue populaire ces dernières années.

Beaucoup de fibres végétales ont été employées en tant que renfort efficace dans des matrices polymériques [25]. Les composites sont préférés à d'autres matériaux parce qu'ils offrent des atouts liés à:

- Leur légèreté;
- Leur résistance à la corrosion et aussi à la fatigue;
- Leur insensibilité aux produits comme les graisses, les liquides hydrauliques, les peintures et les solvants;
- Leur possibilité de prendre plusieurs formes, d'intégrer des accessoires et permettre la réduction de bruit. Cependant, certains inconvénients freinent leur diffusion:
- Les coûts des matières premières et des procédés de fabrication;
- La gestion des déchets engendrés et la réglementation de plus en plus stricte;
- Faible stabilité dimensionnelle;
- Absorption de l'eau.

III.10.Application des composites à base des fibres végétales

L'utilisation des matériaux composites s'inscrit dans une démarche d'éco-conception. On note enfin le développement de granulés thermoplastiques renforcés par des fibres naturelles végétales est utilisé dans différents domaines (cosmétique, automobile, horticulture, électroménager, mobilier urbain, outillage...) [26].

En automobile

L'utilisation des fibres naturelles dans les matériaux composites est de plus en plus courante, notamment, chez l'équipementier automobile Faurecia, le projet de recherche Nafi (Natural fiber for injection), lancé en 2008, a permis de mettre au point des pièces en composites de lin ou en chanvre avec un gain de masse de 25%. Aussi que Alstom Transport équipera en 2014 ses nouvelles rames TGV de panneaux et de cloisons en lin composite et en 2016 le « nez » des locomotives sera fabriqué à partir du même matériau, avec d'autres éléments extérieurs [25].

En construction

Les fibres végétales sont utilisées comme renfort de matériaux, notamment d'isolation, de produits en ciment.

Autres applications

Les palettes, le mobilier (table de camping Lafuma ou chaise IKEA), et FUTURAMAT, une société Française, produit des pièces techniques en résine thermoplastique renforcée de fibres de bois (ainsi que des matériaux biodégradables à base de farines céréalières). La recherche porte sur la caractérisation des fibres, la capacité à les utiliser à des conditions économiques comme renforts de composites structuraux tels que des hublots d'avion, et les moyens permettant d'améliorer l'interaction entre les fibres et la matrice dans laquelle elles sont noyées [27].

III.11. Conclusion

Le présent chapitre met l'accent sur la ressource lignocellulosique employée comme charge ou renfort dans un matériau composite à base de matrice polymère. Cette ressource végétale constitue une ressource renouvelable, naturellement biodégradable, et dispose de nombreuses qualités techniques élevées. La biomasse végétale est constituée de plusieurs macromolécules étroitement liées entre elles au sein de la paroi végétale. Dans le cas de la tige de genêt, au sein de sa paroi, quatre composés majoritaires se distinguent: la cellulose, les hémicelluloses, les pectines et la lignine. L'incorporation de fibres végétales à base de cellulose (coton, lin, chanvre, jute, ramie, sisal, kenaf, coco, abaca, bois...) dans des matériaux thermoplastiques ou thermodurcissables en remplacement des fibres de verre est un concept déjà industrialisé et commercialisé. On trouve ces composites dans des objets aussi variés que des pièces d'habillage intérieures d'automobiles, des coques de bateau, des meubles, des pièces de capotage, des bardages, etc.

Cependant, les propriétés mécaniques des matériaux composites à charges végétales sont très sensibles à différents paramètres notamment: la nature et la quantité des constituants, leur morphologie, le taux de fibres, ainsi que leur orientation et leur état de dispersion dans la matrice, en plus de l'humidité et de la température.

IV.1.Introduction

Notre étude pratique consiste d'une part à développer une formulation de la pâte et de mortier de plâtre d'une part, et d'autre part de caractériser leurs performances physiques et mécaniques à partir d'essais appropriés, ceci permet de les valider en tant que plâtre et mortier et d'évaluer leur aptitude à remplacer les plâtres traditionnels

Pour cela, nous avons choisi de faire varier quelques paramètres dans la pâte et le mortier tels que le dosage en superplastifiant et en fibres de différents nature comme les fibres de polypropylène, des fibres naturelles et des déchets plastique.

En premier lieu : on a procédé à la caractérisation de tous les matériaux utilisés à savoir :

- Le plâtre de Ghardaïa.
- Le sable (OUED SOUF).
- Superplastifiant sika 544.
- Les différents types de fibre (polypropylène, d'alfa et les déchets plastiques).

La deuxième partie : est consacrée à la formulation de différentes compositions de plâtre et leur mortier en utilisant une méthode de laboratoire qui est adopté par la norme l'EN13279-1 et NA 5087-2 2015.

La troisième partie : est consacrée aux résultats et interprétations des caractérisations rhéologiques (à l'état frais) et physico mécaniques (à l'état durci) de différentes formulations étudiées.

IV.2.Caractérisations des matériaux utilisés

Avant d'entamer une formulation, il convient de connaître les caractéristiques des matériaux qui seront employés à cet effet par le biais d'essais normalisés au laboratoire.

IV.2.1.Le plâtre

- Selon la norme **l'EN13279-1** et **NA 5087-2 2015**

Les caractéristiques chimique, physique et mécanique du plâtre utilisé sont présentés dans les tableaux ci-dessus :

Les tableaux IV.1. Représente la composition chimique du plâtre utilisé

Composition chimique	Teneur (%)
SiO ₂	1.78
Al ₂ O ₃	0.39
Fe ₂ O ₃	0.16
CaO	37.94
MgO	1.30
SO ₃	48.91
K ₂ O	0.06
Na ₂ O	0.56
P ₂ O ₅	0.05
TiO ₂	0.04
P.F	8.82
H ₂ O _{crystalisation}	5.84

Tableau.IV.2. Propriétés physiques du plâtre

Caractéristique		
Eau de gâchage	E/P (%)	72
Temps de prise Par méthode du couteau	début	12
	fin	22
Refus cumulés (%)	∑R	5.000
		1.500
		0.200
		0.100
	Fond de tamis	100
Masse volumique	Non tassé	761

Tableau IV.3.Caractéristiques mécaniques du plâtre.

Echéances	Flexion	Compression
7 jours	3.3	8.8

IV.2.2.Le sable

➤ L'analyse granulométrique

L'analyse s'effectue par tamisage avec un jeu normalisé de tamis. On superpose les tamis par dimensions croissantes, et l'on place un récipient sans ouverture sous la pile. Après tamisage, on mesure les refus de chaque tamis ainsi que le tamisât ayant passé à travers le tamis le plus fin.

**Figure.IV.1.**tamis a granulométrie

La courbe granulométrique est la carte d'identité d'un granulat. Elle indique les proportions des grains de chaque dimension. Elle se fait conformément à la norme :

NF EN 933-1.

➤ Granulométrie des granulats selon (NF EN 933-1)

L'analyse granulométrique du sable et son module de finesse sont donnés dans le tableau suivant:

Tableau IV.4.RésultatAnalyse granulométrique de sable d'oued souf

Ouverture des tamis (mm)	Poids(g)	teneurs (%)		Module de finesse (%)
	Refus cumulé	Refus cumulé	Tamisats Cumulés	
6.3	00	0	100	2.4
5	3	0.31	99.69	
4	5	0.51	99.49	
3.15	6	0.62	99.38	
2.5	10	1.03	98.97	
2	16	1.65	98.35	
1.25	55	5.66	94.34	
1	89	9.16	90.84	
0.63	412	42.43	57.57	
0.5	478	49.23	52.97	
0.315	729	75.08	24.92	
0.250	815	83.93	16.07	
0.16	905	93.2	6.80	
0.125	925	95.26	4.74	
0.08	939	96.7	3.3	
0.063	448	97.63	2.37	
Fond de tamis	949	97.73	2.27	

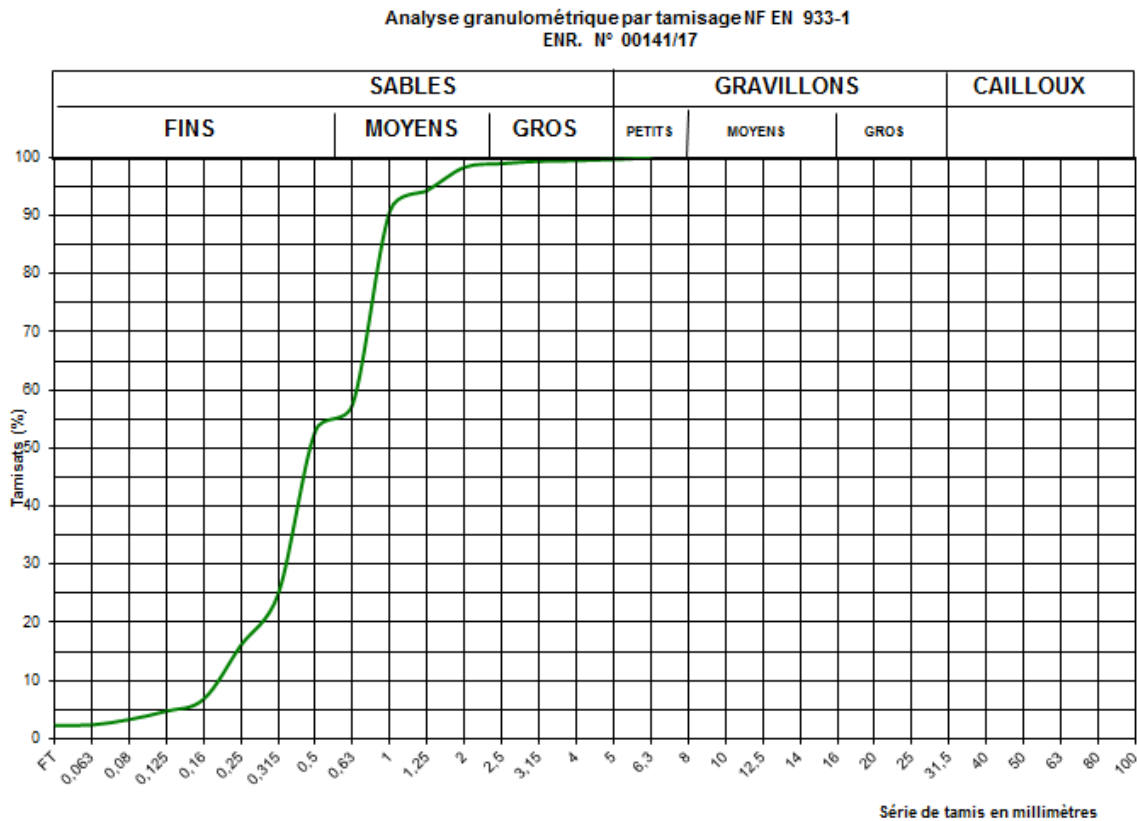


Figure .IV.2. courbe granulométriques de sable

Commentaire :

d'après les résultats obtenus sur le sable, on peut dire qu'il répond aux exigences de la norme (NF EN12620) pour qu'il soit utilisé dans les bétons et les mortiers .

➤ **Module de finesse**

Les sables doivent présenter une granulométrie tels que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF).

Tableau. IV.5.Module de finesse du sable.

Granulats	Spécifications
Module de finesse M_f	$1.8 < M_f \leq 2.2$ (sable fin)
	$2.3 < M_f \leq 2.8$ (sable moyen)
	$2.8 < M_f \leq 3.2$ (sable grossier)

➤ **Equivalent de sable (NF EN 933-9).**

Cet essai est un essai de propreté, la valeur de l'E.S. exprime le pourcentage de fines contenues dans le sable. L'absence de fines ne permet pas d'obtenir un béton compact et diminue les résistances mécaniques.

L'excès de fines est défavorable dans la mesure où il augmente la demande en eau, donc le rapport E/p.

➤ **Valeur de bleu méthylène (NF EN 933-9)**

Permet d'évaluer la quantité et la nature des argiles contenues dans les sables, sur une fraction inférieure à 2 mm .

Elle se fait par absorption d'une quantité de bleu de méthylène proportionnelle à la quantité exposée. Plus les agrégats seront argileux plus la valeur augmentera (signifiant que l'argile est fortement active et donc nuisible).

Les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau.IV.6.Caractéristiques physiques du sable (0/4).

Caractéristiques	Symbole	Résultats
Module de finesse	M_f	2.4
Equivalent de sable (%)	ESV	83
	ESP	81
Valeur Bleu de méthylène (g/kg)	VB	0.5

Commentaire

D'après les résultats obtenus sur le sable, on peut dire qu'il répond aux exigences de la norme (NF EN12620) pour qu'il soit utilisé dans la confection de notre mortier.

IV.2.3.L'eau de gâchage

Pratiquement, on peut utiliser toute les eaux naturelles potable n'ayant pas une odeur ou un goût prononcé peut être employée pour la fabrication du mortier.

Pour les essais sur les mortier on a utilisé l'eau potable de la ville de BOUMERDES

IV.2.4.L'adjuvant

Le superplastifiant utilisé sika 544 est de type haut réducteur d'eau polyvalent pour béton prêt à l'emploi et béton autoplaçant.

Tableau. IV.7. caractéristique de superplastifiant sika 544

Couleur	marron
Ph	5±1
Teneur en Na ₂ O EQ	≤1%
Teneur en ions Cl ⁻	≤0.1%
Extrait sec	32±1.2%

IV.2.5. Les fibres

a)Fibres polypropylènes

Description

Les fibres polypropylènes utilisées sont nommées GRANIFIBRE. L'incorporation de ces fibres dans le béton ou mortier réduit la fissuration.

Caractéristiques :

Longueur de la fibre	12 mm
Densité	0.9
Point de fusion	150 C ⁰ .
Module de Young	3 KN /mm ²
Allongement à la rupture.....	50%
Section de la fibre	30microns

✚ Propriétés

- Les fibres dans le béton ou mortier créent un réseau fibré de haut densité qui :
- Améliore la cohésion à l'état frais
- Réduction la fissuration du retrait et le <cracking >
- Résistance aux milieux alcalins
- Augmentation les résistances à l'abrasion et aux chocs, pouvant atteindre des valeurs 100fois supérieurs à celle de témoin.

✚ Domaine d'application

- Hangars de stockage.
- Ateliers mécanique Revêtement extérieurs.
- Aires de circulation.
- Parking.

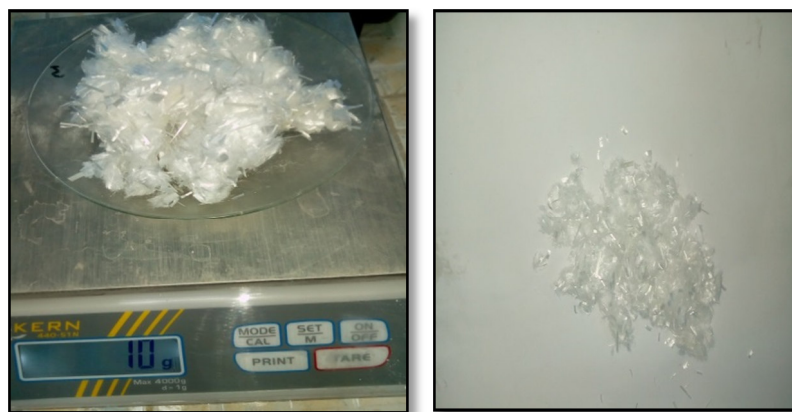


Figure IV.3 : fibres polypropylènes

b) Les fibres naturelles et déchets plastiques

Sont présentés dans le tableau suivant :

<p><i>Déchets plastiques avant et après découpage à 3cm</i></p>	<p><i>Fibres synthétique avant et après découpage à 3 cm</i></p>

IV.3. Formulation et caractérisation de pâte et mortier de plâtre

a-Détermination du rapport (E/P) (eau /plâtre)

✚ Par la methode de saupoudrage

- On prend 100ml d'eau dans un bécher de 250ml, puis on la tare sur une balance technique.
- On saupoudre le plâtre dans le bécher pendant 30 secondes jusqu'à ce que le niveau de plâtre soit à 50ml, et pendant la deuxième 30 secondes atteindre 100ml et on continue l'opération jusqu'à ce que la quantité d'eau soit absorbée par le plâtre et cela pendant la deuxième minute.
- On obtient le rapport eau/plâtre (E/P)



Figure IV.4.Saupoudrage de plâtre

Tableau IV.8 : Détermination le rapport E/P

	Masse du plâtre	La masse d'eau (g)
Essai 1	135	100
Essai 2	139	100
Essai 3	140	100
Moyenne	138	100
E/P=0,72		

IV.4. Confections des éprouvettes et conditions de conservation

IV.4.1. Malaxage et mise en œuvre du plâtre

Le malaxage a été effectué à l'aide d'un malaxeur à axe vertical d'une capacité de 5L. La pale de malaxeur pouvant tourner à deux vitesses lente. Cette introduction se fait comme suit:

1. On introduit l'eau et le super plastifiant en premier dans le malaxeur et on verse ensuite (le plâtre dans le cas de la pâte et le mélange sable puis on procède a ajouté de plâtre dans le cas de mortier) pendant 15s
2. Aussitôt après, on met le malaxeur en marche à vitesse lente. pendant une minute.
3. On arrête le malaxeur et on enlève au moyen d'une raclette de caoutchouc le mélange adhérent
4. On fait verser le mélange dans le moule à plâtre pour obtenir des éprouvettes désirées.

IV.4.2. Préparation des éprouvettes (EN 13279-2)

- La confection des éprouvettes avec des dimensions de 4*4*16 a pour but de déterminer les essais mécaniques a la rupture par flexion de 03 points et par compression simple.
- Faire subir les moules a des chocs continus afin d'assurer le bon remplissage.
- démouler le moule après 2h.



Figure .IV.5. Déroulement de la confection des éprouvettes du plâtre

IV.4.3. Détermination du temps de prise (EN13279-2)

- Nous déterminons le temps de début de prise en découpant des fentes dans la galette.
- Ensuite on nettoie le couteau et le sécher après chaque découpe. Les fentes doivent être pratiquées dans des intervalles de temps ne dépassant pas 1/20 du temps de prise escompté.
- Utiliser deux galettes pour les découpes préalables, la troisième étant réservée à la découpe d'essai.
- Le temps de début de prise t_i est obtenu au moment où les bords d'une fente découpée au temps t_i cessent de se rapprocher.

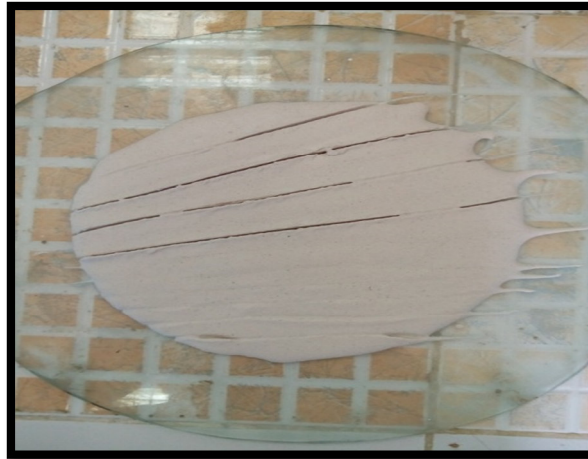


Figure .IV.6.1’essais de temps de prise

IV.4.4.Conservation des éprouvettes

Les nombres total des éprouvettes pour chaque mélange égale à 3éprouvettes, on les conserve dans l’atmosphère du laboratoire suivant le démarche qui ce suit :

L’âge de 07jours : exposer l’éprouvette a l’air libre pendant 07 jours puis la mettre dans l’étuve a une température de $40^{\circ}\text{C}\pm 2$ jusqu’à un point constant (environ 03 jours).

IV.5.Etude de la composition de pâte de plâtre et mortier de plâtre

✚ Détermination du rapport de E/P de la pâte et mortier de plâtre

a)Pour la pâte de plâtre

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 suivant :

Tableau.IV.9. le Rapport E/P pour la pâte de plâtre

plâtre	Eau	SP	E/P	Étalement	Délai de prise
1000	720	0	0,72	17	12
1000	600	0,5%	0,60	17	12
1000	570	1%	0,57	17	16
1000	570	1,5%	0,57	16	16

b) Pour le mortier

Tableau IV.10. le Rapport E/P pour le mortier de plâtre

Sable	Plâtre	Eau	SP	E/P	étalement	Délai de prise
1000	333	333	/	1	10	4
1000	333	280	0,5 %	0,84	10	5
1000	333	270	1 %	0,81	10	6
1000	333	250	1,5 %	0,75	10	7

Commentaire

On a changé le rapport E/P d'une façon à conserver la fluidité de plâtre (même étalement avec le témoin) dans le but de :

- déterminer l'influence de superplastifiant sur le plâtre a l'état frais.
- d'avoir une fluidité et le délai de prise.

IV.5.1.Confections des éprouvettes témoins

- Préparer le mélange qui se comporte 1000g de plâtre et de quantité d'eau correspondante à cette masse d'après l'eau de gâchage.
- Verser l'eau dans le récipient.
- Mettre le malaxeur en marche à la vitesse lente pendant 1min
- Verser au fur et à mesure la matière (Plâtre)
- Verser le tout dans le moule.



Figure IV.7. La confection des éprouvettes témoins

IV.5.2. pate de plâtre avec une variété de pourcentage de superplastifiant

- Prendre 1kg de plâtre.
- mélanger les pourcentages 0,5%, 1%, 1,5% de superplastifiant avec de l'eau de gâchage.
- Mélanger les quantités précédente et on obtient une poudre de plâtre d'une façon à être a bien homogénéiser ensemble.
- On fait verser le mélange dans le moule de plâtre pour obtenir des éprouvettes désirées.
- On démoule le tout.
- Conserver les éprouvettes dans les temps conseillé.
- Procéder à l'écrasement d'une fois à la flexion et puis a la compression.

✚ L'ajout des fibres déchet

Dans cette étape on a ajouté dans notre plâtre des quantités de fibre déchet , mais d'une manière choisie exprimée en pourcentage qui suit : 0,5%et 1% par rapport a la quantité d'eau versée.

✚ L'ajout des fibres naturelles

On introduit l'eau et le superplastifiant en premier dans le malaxeur et on verse ensuite (1000g de plâtre dans le cas de la pâte et le mélange de 1000g de sable puis on procède a ajouter 333g de plâtre dans le cas de mortier) pendant 15s.

- Découper les fibres d'alfa 3cm chaque fil.
- mélanger les quantités suivant l'ordre : 0,5% ,1% de fibres avec la poudre de plâtre d'une façon a être a bien homogénéiser ensemble.
- Aussitôt après, on met le malaxeur en marche à vitesse lente.Pendant une minute.

- On fait verser le mélange dans le moule à plâtre pour obtenir des éprouvettes désirées.
- On démoule le tout.
- Conserver les éprouvettes dans les temps conseillé.
- Procéder à l'écrasement d'une fois à la flexion et puis a la compression.

L'ajout des fibres synthétiques (polypropylène)

On a ajouté dans notre plâtre des quantités de fibre synthétique, d'une manière choisie exprimée en pourcentage qui suit : 0,5% et 1% par rapport à la quantité d'eau versée.

IV.6. Compositions de la pâte de plâtre

Les compositions de la pâte de plâtre étudié dans ce travail, sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau IV.11: composition de la pâte de plâtre

PLATRE (g)	EAU (g)	Superplastifiant (%)	EauPlatre	FIBRE (%)	ETALLEMENT (cm)	Délai de prise (min)
Témoin						
1000	720	0				12
SANS FIBRE						
1000	600	0,5	0,6	0	17	12
1000	570	1	0,57	0	17	16
1000	570	1,5	0,57	0	16	20
Fibre dechets						
1000	600	0,5	0,6	0,5	15	13
1000	600	0,5	0,6	1	14	12
1000	570	1	0,57	0,5	16	15
1000	570	1	0,57	1	15,5	14
Fibre Naturelle						
1000	600	0,5	0,6	0,5	14	12
1000	600	0,5	0,6	1	13	11
1000	570	1	0,57	0,5	14,5	14
1000	570	1	0,57	1	13,5	13
Fibre de Polypropylène						
1000	600	0,5	0,6	0,5	15	13
1000	600	0,5	0,6	1	14	12
1000	570	1	0,57	0,5	15	15
1000	570	1	0,57	1	14	14

Notation des composite	
SP	superplastifiant
FPP	fibres de polypropylène
FN	fibres naturel
FD	fibres déchet

IV.7.Essais mécaniques

IV.7.1.La résistances mécaniques de rupture par flexion (R_f)

Les éprouvettes façonnées ont subi également une caractérisation mécanique (compression, flexion,).

Résistance à la traction par flexion 3 points

On mesure sur 3 éprouvettes prismatiques $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ conservées à l'air dans les conditions ambiantes jusqu'à l'âge d'essai (7 jours).

Détermination de la force requise pour briser un prisme de plâtre mesurant $160 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$, reposant sur des rouleaux supports distants de 100 mm .

$$R_f = \frac{3 F L}{2b \times h \times h}$$

R_f : Résistancea la flexion (N / mm^2)

F : la force appliquée (N)

L : La distance entre les appuis (mm)

b : L'arête de la section carrée de prisme (mm)

h : hauteur de l'éprouvette

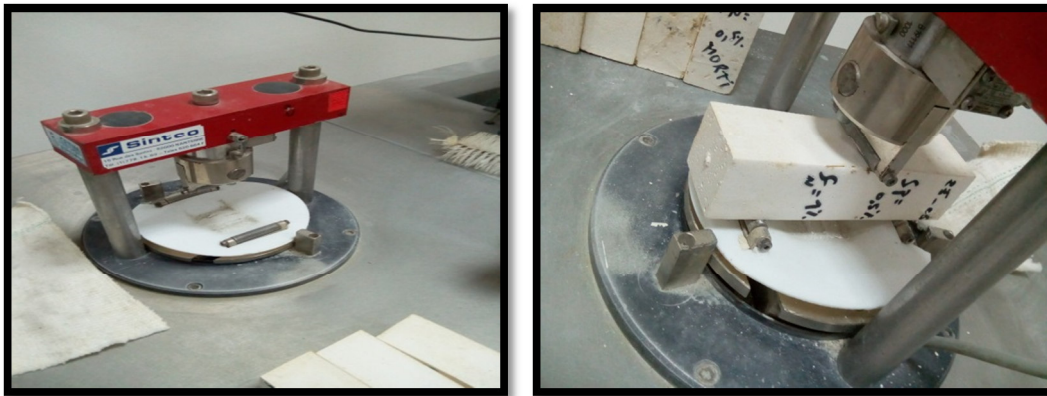
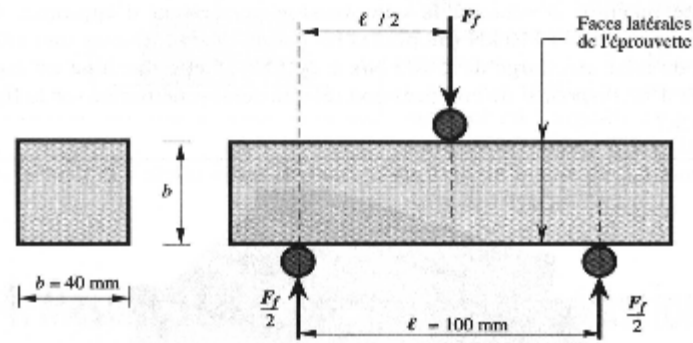


Figure IV.8: Machine à flexion

IV.7.2. La résistance mécanique à la rupture par compression

➤ Principe

Compression d'un prisme jusqu'à la rupture. L'essai de compression consiste à soumettre l'éprouvette à l'écrasement par compression axiale. La mise en charge doit se faire d'une manière continue jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

$$R_c = \frac{F_c}{S}$$

R_c : La résistance mécanique à la compression (N/mm^2)

F_c : charge à la rupture (N)

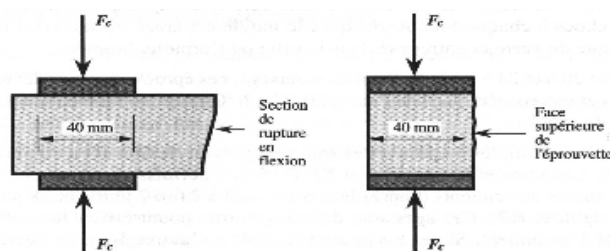




Figure IV.9.Machine a compression

Tous les résultats obtenus dans notre étude pour la pâte ou pour le mortier de plâtre sont résumés dans les tableaux suivants et représentés dans histogrammes qui suivent :

IV.8.Influence SP sur pâte

Tableau .12: Résultats de la résistance à la flexion et à la compression après l'ajout des superplastifiant à la pâte de plâtre (kgf /cm²)

	Flexion (kgf /cm²)	Compression
C_T	3.3	8.8
0.5% C_T	4.3	12.3
1% C_T	4.6	12.7
1.5% C_T	5.1	14.4

Les résultats des essais de compression et de flexion de pâte de plâtre avec superplastifiant sont représentés respectivement sous forme d'histogramme dans la figure ci-dessus

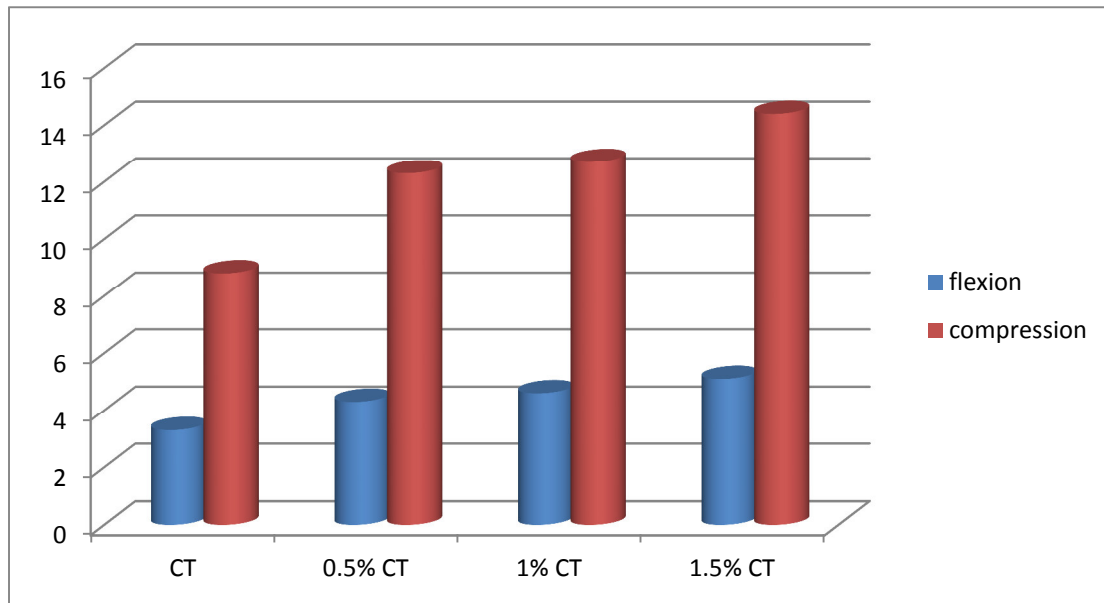


Figure IV.10. Evolution de la résistance à la flexion et à la compression après l'ajout des superplastifiants à la pâte de plâtre

- **INTERPRITATION DES RESULTAS**

Les résultats obtenus montrent que le développement des résistances (flexion et compression)

Augmentent avec l'augmentation de pourcentage de super plastifiant cela est due à porosité de plâtre qui a diminué avec la diminution de rapport E/P

IV.9. Influence SP sur la pâte de plâtre fibré

Dans cette partie on fixe le pourcentage de superplastifiant dans 1% et on change le pourcentage de fibres (0.5 ,1%)

Tableau IV.13. Résultats de la résistance à la flexion et à la compression après l'ajout des fibres à la pâte de plâtre (kgf /cm²)

	Flexion	Compression
C_T	3.3	8.8
0.5% FPP	5.1	13.1
1% FPP	5.5	14
0.5% FN	4.1	11.5
1% FN	4.6	12.7
0.5% FD	4.5	11.4
1% FD	4.9	12.4

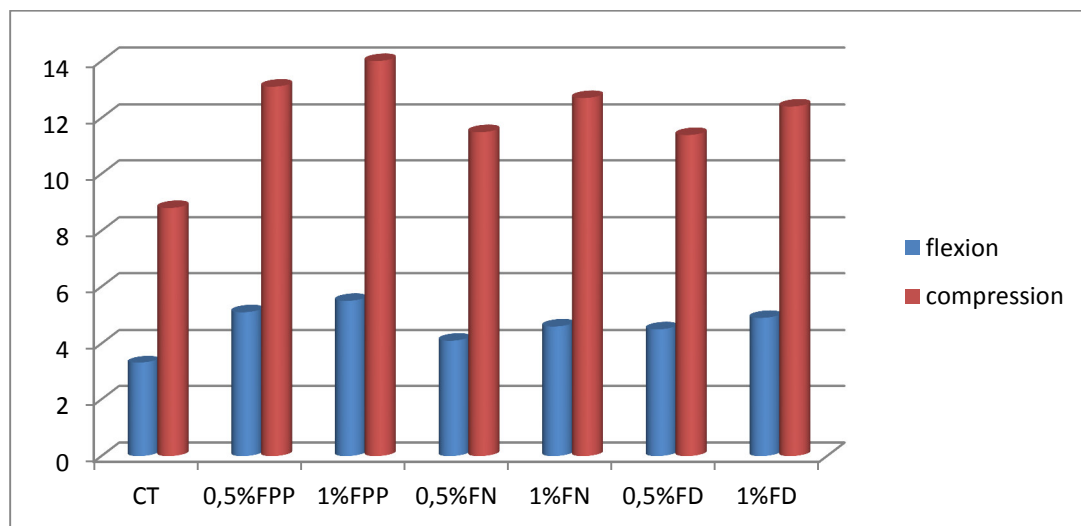


Figure IV.11. Évolution de la résistance à la compression et à la flexion après l'ajout des fibres à la pâte de plâtre

Interprétation des résultats obtenus

D'après l'histogramme qui indique le gain ou la perte de résistance, on remarque

- qu'on a une augmentation major par rapport au témoin pour les deux types de résistance
- les fibres polypropylènes donnent une meilleure résistance à la flexion et à la compression par rapport aux autres types de fibres .

- les fibres de déchets donnent des Résistances élevées par rapport aux celle des fibres naturelle, cela est due à ductilité de fibres de déchets par rapport les fibres naturelle qui est très fragiles
- Les résultats obtenus montrent aussi que le renforcement des plâtres par l'incorporation des fibres a toujours une influence positive sur les résistances mécaniques par rapport au notre témoin

➤ **Compositions de mortier de plâtre**

Les compositions de mortier de plâtre étudié dans ce travail, sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau IV.14.composition de mortier de plâtre

SABLE	PLATRE	EAU	SP	E/P	FIBRE	ETALLEMENT	Délai de prise
Témoins							
1000	333	333	0	1	0	10	4
Sans fibre							
1000	333	280	0,5	0,84	0	10	5
1000	333	270	1	0,81	0	10	6
1000	333	250	1,5	0,75	0	10	7
Avec Fibre							
Fibre déchet							
1000	333	280	0,5	0,84	0,5	9	4
1000	333	280	0,5	0,84	1	8,5	4
1000	333	270	1	0,81	0,5	9,5	6
1000	333	270	1	0,81	1	8	5
Fibre Naturelle							
1000	333	280	0,5	0,84	0,5	9	4
1000	333	280	0,5	0,84	1	8	3
1000	333	270	1	0,81	0,5	9	5
1000	333	270	1	0,81	1	7,5	5
Fibre de polypropylène							
1000	333	280	0,5	0,84	0,5	9	4
1000	333	280	0,5	0,84	1	8,5	4
1000	333	270	1	0,81	0,5	9,5	6
1000	333	270	1	0,81	1	8	5

➤ Essais mécaniques sur le mortier de plâtre

IV.10. Influence de superplastifiant sur le mortier de plâtre

Tableau IV.15. Résultats de la résistance à la flexion et à la compression après l'ajout des superplastifiant au mortier de plâtre (kgf /cm²)

	Flexion	Compression
C_T	1.8	5.5
0.5% C_T	2.2	6.8
1% C_T	2.0	5.7
1.5% C_T	1.5	5.2

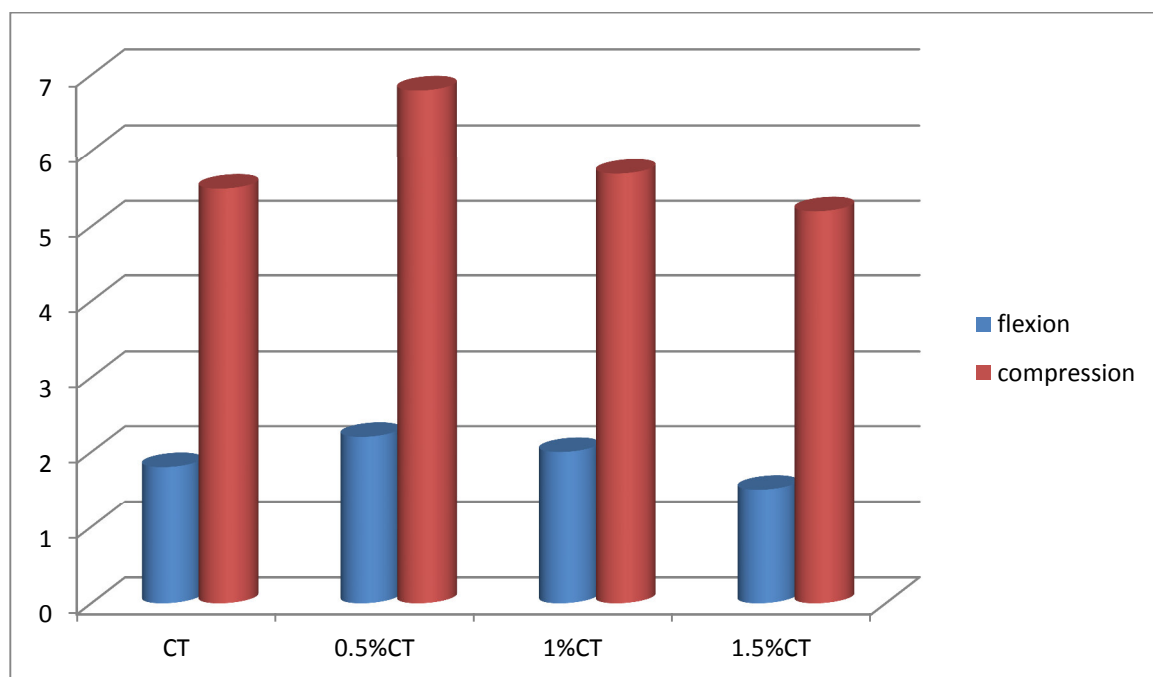


Figure IV.12. Evolution de la résistance à la flexion et à la compression après l'ajout des superplastifiants au mortier de plâtre

Interprétation des résultats obtenus

D'après l'histogramme qui indique le gain ou la perte de résistance, on signale que :

- L'ajout de sable réduit les résistances mécaniques de plâtre.

- L'ajout de superplastifiant dans le mortier de plâtre développe légèrement les résistances mécaniques par rapport au pâte qui est major.
- On remarque aussi que la résistance avec 1.5% de superplastifiant est inférieure à 1% ça veut dire que on a un excès d'adjuvant, donc le point de saturation est environ 1%

IV.11. Influence des fibres sur mortier plâtre

Sp=1

Tableau IV .16. résultat de la résistance à la flexion et à la compression après l'ajout des fibres au mortier de plâtre (kgf /cm²)

	Flexion	Compression
C_T	1.8	5.5
0.5% FPP	1.8	5.9
1% FPP	2	6
0.5% FN	1.7	5.6
1% FN	1.8	5.2
0.5% FD	1.9	6.1
1% FD	2.1	6.5

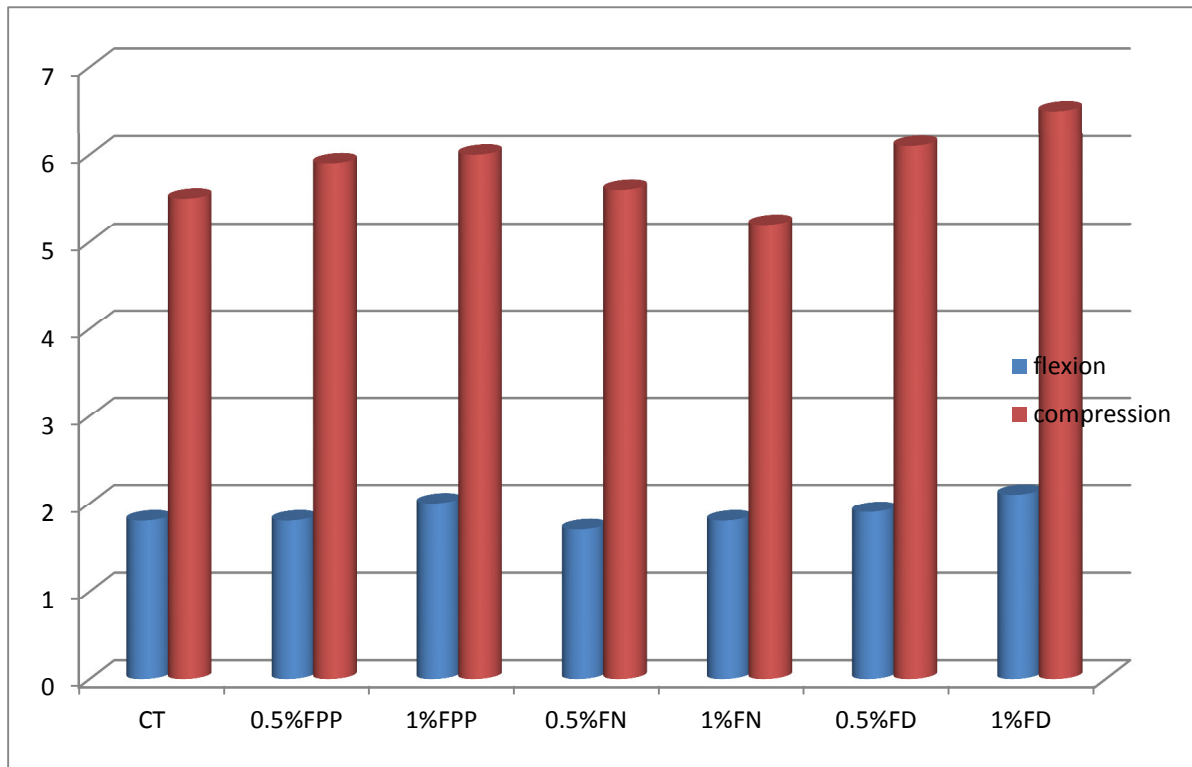


Figure IV.13. Évolution de la résistance à la compression et à la flexion après l'ajout des fibres au mortier de plâtre

Interprétation des résultats obtenus

D'après les résultats obtenue on remarque que

- on a une augmentation légère dans les résistances des mortiers étudiés
- les meilleur fibres utilises sont les fibres de déchets
- les fibres naturels utilisé jeu aucun rôle dans les mortiers étudié

Conclusion générale

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, le plâtre et les fibres d'alfa ,polypropylene et déchets plastiques qu'on trouve 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 et synthétique 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 pate 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 synthétiques (polypropylene), en appréciant par des propriétés physiques et mécaniques excellentes, et même en termes de permanence, ils donnent des bons résultats, La

Conclusion générale

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.

- 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 :
 - 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.
 - 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

Et aussi Une étude expérimentale a été menée sur des mortiers préparés à partir de sable et renforcé par fibres du polypropylène. Elle comporte deux volets :

- Dans un premier lieu de l'étude expérimentale, c'est l'ajout des fibres du polypropylène 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 polypropylene avec des dosages variés pour une longueur fixé , 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 :
- -Les fibres synthétiques 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 nous registrons une chute. Cela est en

Conclusion générale

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 des fibres dans la matrice, améliore de façon importante la ductilité du matériau, et améliore aussi le seuil de fissuration.

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 et synthétiques.

Référence bibliographique

- [1] Hamouda JAFFEL. Caractérisation multi-échelles de matériaux poreux en évolution .
- [2] Philippe COQUARD. Résistance mécanique des plâtres secs et humides. PhD thesis, Université de droit, d'économie et des sciences d'Aix-Marseille III, 1992.
- [3] SANAHUJA Julien. Impact de la morphologie structurale sur les performances mécaniques des matériaux de construction : application au plâtre et à la pâte de ciment. PhD thesis, Ecole nationale des ponts et chaussées, France, 2008.
- [4] Secret de fabrication du plâtre – le plâtre industriel-L 'Entrevous – numéro 23 –page 13 .
- [5] MFE : Fabrication du plâtre alpha a haute résistance a partir du gypse de Ghardaïa. juillet 1991.
- [6] SANAHUJA Julien, DORMIEUX Luc, CHANVILLARD Gilles, and MEILLE Sylvain. Modélisation micromécanique des matériaux poreux (pâte de ciment, plâtre), Janvier - <http://cmm.mines-paristech.fr> - 12/09/2012 à 15h20 2008.
- [7] 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.
- [8] Daniel DALIGAND., “ Le plâtre“, technique de l'ingénierie, 2001.
- [9] BOUNOUA FETHI Technologie De Fabrication Et Contrôle De La Qualité Du Plâtre Université Badji Mokhtar-Annaba- Juin 2015 p.44
- [10] C.N.E.R.I.B., “Recommandations pour la construction en plâtre“, Centre National d'Etudes et de Recherche Intégrées au Bâtiment, 2003
- [11] A. Y. Nenonene, ”Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage” , thèse de doctorat de l'université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, Sciences des Agro ressources, 2009.
- [12] C.A.R.M.A., “Glossaire des matériaux composites renforcés de fibres d'origine renouvelable “, Centre d'Animation Régional en Matériaux Avancés, 2006.
- [13] BLEDZKI, A. K and GASSAN. J., “Composites reinforced with cellulose based fibers“, ELSEVIER, Progress in polymer science, volume 24, pp.221-274, 1999.
- [14] 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.
- [15] D. Sedan. « Etude des Interactions Physico-Chimiques aux Interfaces Fibres de Chanvre/Ciment. Influence sur les Propriétés Mécaniques du Composite ». Thèse de

Référence bibliographique

Doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Limoges, France, 2007, 129 p.

[16] Métrologie et Modilisation des transferts dans les composites naturels à faible cout pour l'isolation thermique dans le batiment en algérie par : M.CHIKHI et B.

AGOUDJIL –Université Hadj Lakhdar, Batna –workshop sur les Energies renouvelables et leurs application, WERA'10 , Batna, 28 et 29 septembre 2010.

[17] G.G.Giménez « Aportaciones a la química del esparto español ». Anales de la Universidad de Murcia. Vol 13, N° 1. Curso 1954-55

[18] R.G. Raj et B.V.Kokta, «Compounding of cellulose fiberswithpolypropylene: effect of fibertreatment on dispersion in the polymer matrix », Journal of AppliedPolymer Science., Vol. 38,1989, pp. 1987-1996.

[19] C. Klason, J. Kubata et H.E. Stromvall. « The Efficiency of Cellulosic Fillers in Common Thermoplastics. Part I. FillingWithoutProcessingAids or Coupling Agents ». International Journal of Polymeric Materials., Vol. 10, 1984, pp. 159-187.

[20] J. Soucy, « Potentiel d'utilisation des fibres de papier dans la conception decomposites bois polymères par une technologie d'extrusion ». Thèse de Maîtrise en Ingénierie, Université du Québec, Canada, 2007, 149 p

[21] Suddell BC, Evans WJ. Natural fiber composites in automotive applications. In: Mohanty AK, Misra M, Drzal LT, editors. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites: CRC Taylor & Francis; 2005. p. 237–265.

[22] Clemons C. Wood-plastic composites in the United States: the interfacing of two industries. Forest Prod J. 2002;52(6):10–18.

[23] Jean-Marie Berthelot Mécanique des Matériaux et Structures Composites 2013

[24] Centre d'Animation Régional en Matériaux Avancés (C.A.R.M.A.). Glossaire des matériaux composites. In: <http://www.materiatech-carma.net>; 2004.

[25]C. Zamprogno et P. Hourçourigaray, «Nautisme et Composites BioSourcés» .

[26] C. Baley. Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites. Technique de l'ingénieure, traité génie des procédés, Vol. AM5, 2004, pp. 130.

[27] S. A. Paul, A. Boudenne, L. Ibos, Y. Candau, K. Joseph et S. Thomas. « Effect of fiber loading and chemical treatments on thermophysical properties of banana fiber/polypropylene commingled composite materials», Compos. Part A: Applied Science and Manufacturing., Vol.39, 2008, pp. 1582–1588.