

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieure et de la Recherche
Scientifique
Université MOULOUD MAMMARI de Tizi-Ouzou



Faculté de Génie de la Construction
Département de Génie Civil

En vue de l'obtention du Diplôme de Master
en Génie Civil
Option : Structure

Thème

***Isolation Thermique d'Un Mortier à
Base de fibres végétales***

Dirigée par :
M^{me} Kheloui Fatma

Réalisée par :
Benyoucef Rabah
Derouez jugurtha

Promotion 2020/ 2021

Remerciement

Tous d'abord, nous tenons à remercier dieu clément et miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à terme ce travail. Comme, c'est un plaisir de remercier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire :

En premier lieu, nous voudrions exprimer nos remerciements les plus sincères à notre promotrice **M^{me} KHELOUI Fatma**, pour nous avoir guider pour la réalisation de cette étude et le soutien scientifique et moral

Nos vifs remerciements iront aux membres de jury qui nous ferons l'honneur de juger notre travail.

Nous voudrions aussi remercier **M^r BOUHERRAOUA Rachid**, pour ses encouragements durant notre passage au laboratoire

Nous remercions chaleureusement **M^r DJADOUN Toufik** pour son aide pratique au laboratoire pour réaliser ce modeste travail et son soutien moral et ses encouragements.

Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participées de près ou de loin à la réalisation de ce projet.





Dédicaces

*Je dédie ce travail à :
Mes très chers parents.*

Mes frères.

Mes sœurs.

A tous mes amis (es) sans exception.

Mon binôme Rabah et sa famille.

A tous ceux que j'aime et qui m'aiment

Jugurtha





DEDICACES

Je tiens à dédier ce modeste travail aux personnes les plus chères mes adorables parents Ali et IKHARBINE Sadia qui ont su être à mes cotés dans les moments difficiles. Sans eux, je n'aurai pas accompli ce travail, ainsi que pour chaque instant de bonheur qu'ils m'ont procurés, puisque c'est grâce à leurs soutiens que j'ai pu arriver la ou j'en suis aujourd'hui ; je souhaite que ce travail soit à la hauteur de tout ce qu'ils ont pu faire pour moi. Fasse Dieu que je puisse les honorés.

A mes chères et adorables sœurs: **Kenza** et **Souad** qui m'encouragent toujours.

A mon cher et aimable frère : **Marzak** et qui me soutiens constamment.

A ma grand-mère **ARMOUCHE Yamina**

A la mémoire de mon grand père SAID que dieu le garde dans son vaste paradis.

A ma famille.

A mes amis.

A tous mes enseignants.

Aux étudiants de ma promotion Structure.

A tous ceux qui me sont chères.

RABAH

Résumé

La durabilité des bétons de fibres végétales à long terme est un sujet d'actualité. Il est aujourd'hui l'objet de recherche de plusieurs auteurs du domaine du Génie Civil. Le regain d'intérêt se manifeste dans le monde pour l'utilisation de ce type de composites dans l'industrie du bâtiment pour différentes applications.

Le mortier est un matériau largement utilisé dans le domaine de la construction. La tendance à alléger d'avantage les structures avec l'introduction des matériaux légers tels que des fibres végétales (sisal, rafia, lin, ...) est d'actualité. Ces matériaux, de faible densité, confèrent aux structures une isolation thermique et acoustique la plus optimale possible. L'utilisation de ces fibres, permettant de garder les propriétés physicomécaniques du matériau.

Ce travail de recherche a pour objectif, une étude sur le comportement thermique d'un mortier à base de fibres Sisal. Ces fibres sont introduites dans la matrice mortier sous forme de fibres droites de 3 et 5cm. De la littérature, nous avons pris des différents pourcentages à savoir (0.25%, 0.5%, 0.75%, 1%, 1.25% et 1.5%). Une campagne d'essais thermique sur plusieurs éprouvettes a été réalisée.

Mots clés : fibres végétales, mortier, essais thermique, analyse.

Abstract:

The long-term durability of vegetal fiber concretes is a new topic. It is now the subject of research by several authors in Civil Engineering field. There is a resurgence of interest around the world for this type of composites used in the construction industry for different applications.

Mortar is a widely used material in the construction. The trend to further lighten structures with the introduction of light materials such as plant fibers (sisal, raffia, linen, etc.) is topical. These materials, of low density, give the structures the most optimal thermal and acoustic insulation possible. The use of these fibers makes it possible to keep the physic mechanical properties of the material.

This research work aims to study the thermal behavior of a mortar based on Sisal fibres. These fibers are introduced into the mortar matrix in the form of straight fibers of 3 and 5cm. From the literature, we have taken different percentages namely (0.25%, 0.5%, 0.75%, 1%, 1.25% and 1.5%). The thermal tests on several specimens were carried out.

Key words: vegetable fibers, mortar, thermal tests, analysis.

Liste des tableaux

Chapitre II : Généralités sur les fibres Végétales

Tableau II.1: Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales	27
Tableau II.2: Composition chimique (en %) de différentes fibres végétales	38
Tableau II.3: Propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec des fibres de renforcement conventionnelles.....	39
Tableau II.4: Les avantages et les inconvénients des fibres végétales	40

Chapitre III : Procédure expérimentale

Tableau III.1 : Analyses chimiques	42
Tableau III.2 : Caractéristiques physiques du ciment	42
Tableau III.3 : Analyse granulométrique du sable lavé	44
Tableau III.4: Valeurs d'équivalent de sable	46
Tableau III.5 : Valeurs de l'équivalent de sable.....	46
Tableau III.6 : Masse volumique apparente et absolue	48
Tableau III.7: Propriété de fibre de sisal	49
Tableau III.8: Constituants chimiques du sisal	49
Tableau III. 9 : Composition du mortier pour 1m ³	50
Tableau III. 10 : Quantités pour 03 éprouvettes	50
Tableau III. 11. Désignation des différents mortiers à base de fibres de Sisal.....	52

Chapitre IV : Présentation des Résultats et Discussion

Tableau IV.1.: Pesées des éprouvettes en mortier à base de fibre de sisal 3cm et le mortier témoin.....	53
Tableau IV.2.: Pesées des éprouvettes en mortier à base de fibre de sisal 5 cm et le mortier témoin.....	54
Tableau IV.2. Résultats des essais thermique pour les éprouvettes de mortier témoin et de mortier à base de fibre sisal de dimension 3 cm.....	56

Liste des figures

Chapitre I : Le mortier dans tous ses états

Figure I.1: Constituants des mortiers	4
Figure I.2: Le ciment	5
Figure I.3: Sable roulé (naturel)	6
Figure I.4: Sable concassé (Artificiel).....	7
Figure I.5: Table à secousses.....	12
Figure I.6: Principe de fonctionnement du maniabilimètre.....	13
Figure I.7 : Cône.....	13
Figure I.8: Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge	14
Figure I.9 : Appareillage pour la mesure du retrait	15
Figure I.10 : Volume quelconque.....	16
Figure I.11 : Volume unitaire	17
Figure I.12: Pose de mortier de hourdage	18
Figure I.13: Enduits isolants et enduits de façade	19
Figure I.14: Les chapes fluides et chape ciment	19
Figure I.15 : Les scellements.....	20

Chapitre II : Généralités sur les fibres Végétales

Figure II.1 : Classification des fibres textiles.....	22
Figure II.2 : Exemples de fibres végétales : (a) Coton, (b) Lin, (c) Chanvre.....	23
Figure II.3 : Exemples de fibres animales : laine, cachemire, soie	23
Figure II.4 : Origine des fibres végétales	25
Figure II.5: Variation du diamètre le long de la fibre de lin	27
Figure II.6: Photographie en microscopie électronique à balayage d'une fibre de coton	28
Figure II.7: Morphologie de fibre de diss	28
Figure II.8: Structure du bois (observations multi échelles)	29
Figure II.9 : Modèle de description de la structure d'une fibre végétale	30
Figure II.10: Représentation schématique d'une fibre de bois.....	31
Figure II.11: Représentation de la chaîne de cellulose.....	31
Figure II.12: Liaisons hydrogène O - H-3' intramoléculaires	32

Figure II.13: Liaison hydrogène inter et intramoléculaires au sein de la fibre de cellulose	33
Figure II.14: Hiérarchie de structure dans une fibre cellulosique	33
Figure II.15: Alternance des zones cristallines et désorganisées le long d'une microfibrille [13]	34
Figure II.16: Principaux glucides constituant les hémicelluloses	35
Figure II.17 : structure de la pectine	36
Figure II.18 : Motifs élémentaires de la lignine	37
Figure II.19: Composition chimique des fibres de Diss en matière sèche (% en poids)	37
Figure II.20: Exemple de défaut structural sur une fibre de lin	39

Chapitre III : Procédure expérimentale

Figure III.1: Le ciment	42
Figure III.2 Le Sable	43
Figure III.3 : Tamiseuse électrique.....	44
Figure III.4 : Courbe granulométrique du sable lavé 0/3	45
Figure III.5 : Essai d'équivalent du sable.....	46
Figure III.6 : Élaboration de la masse volumique apparente.....	47
Figure III.7: Masse volumique absolue de sable.....	48
Figure III.8: Fibre de sisal	49
Figure III.9: Confection des éprouvettes	51
Figure III. 10 : Coulage des éprouvettes	52

Chapitre IV : Présentation des Résultats et Discussion

Figure IV.1: CT mètre	55
Figure IV.2. Courbe conductivité thermique en fonction de pourcentage de fibre sisal 3cm...	57
Figure IV.3. Courbe conductivité thermique en fonction de pourcentage de fibre sisal 5cm....	57
Figure IV.4. Histogramme des résistances thermiques en fonction de pourcentage de fibre sisal 3cm.....	58
Figure IV.5. Histogramme des résistances thermiques en fonction de pourcentage de fibre sisal 5cm	58

SOMMAIRE

Chapitre I : Le mortier dans tous ses états

Introduction générale.....	1
I.1. Introduction.....	3
I.2. Les mortiers	4
I.2.1. Définition	4
I.2.2. Constituants des mortiers	5
I.2.2.1. Le Liant	5
I.2.2.2. Le sable	5
I.2.2.3. L'eau de gâchage	8
I.2.2.4. Les additifs.....	8
I.3. Différents types des mortiers	9
I.3.3. Les mortiers bâtards	9
I.3.2. Les mortiers de chaux	9
I.3.1. Les mortiers de ciment.....	9
I.3.3. Les mortiers bâtards	9
I.3.4. Mortier réfractaire	10
I.3.5. Mortier rapide	10
I.3.6. Mortier industriel	10
I.4. Caractéristiques des mortiers	11
I.4.1. Ouvrabilité	11
I.4.2. La prise.....	13
I.5. Résistances mécaniques	14
I.6. Retraits et gonflements	15
I.6.1. Le Retrait	15
I.6.2. Le gonflement	15
I.7. Masse volumique apparente.....	15
I.8. Masse volumique absolue	16
I.9. Porosité et compacité	16
I.9.1. La porosité	16
I.9.2. La compacité.....	16
I.10. Préparation des mortiers	17

I.10.1. Fabrication à la main.....	17
I.10.2. Fabrication mécanique	17
I.11. Domaines d'utilisation des mortiers	18
I.11.1. Le hourdage de maçonnerie	18
I.11.2. Les enduits	18
I.11.3. Les chapes	19
I.11.4. Les scellements et les calages	20
I.12. Conclusion	20

Chapitre II : Généralités sur les fibres Végétales

II.1. Introduction	21
II.2. Les matières textiles	21
II.2.1. Matières d'origine naturelle.....	22
II.2.1.1. Matières d'origine végétale	22
II.2.1.2. Matière d'origine animale	23
II.2.1.3. Matières d'origine minérale.....	24
II.2.2.Matières d'origine chimique.....	24
II.2.2.1. Les fibres textiles artificielles	24
II.2.3.Les fibres textiles synthétiques	24
II.3. Les fibres végétales	25
II.3.1. Définition de la fibre végétale	26
II.3.2. Classification des fibres végétales	26
II.3.3. Morphologie de la fibre végétale	26
II.3.4. Structure de la fibre végétale	28
II.3.5. Composition chimique des fibres végétales	30
II.3.5.1. Cellulose	31
II.3.5.2. Hémicelluloses.....	34
II.3.5.3. Pectines	35
II.3.5.4. Lignine.....	36
II.3.5.5. Extractibles	37
II.4. Propriétés mécaniques de la fibre végétale.....	38
II.5.Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales.....	40

II.6.Conclusion	40
-----------------------	----

Chapitre III : Procédure expérimentale

III.1. Introduction	41
III.2. Présentation des matériaux étudiés.....	41
III.2. Constituants du mortier	41
III.2.1. Le ciment.....	41
III.2.2. Sable	43
III.2.3. L'eau	48
III.2.4. Le sisal.....	48
III.3. Confection des spécimens d'étude	50
III.4. Conclusion.....	52

Chapitre IV : Présentation des Résultats et Discussion

IV.1. Introduction	53
IV.2. Les essais thermiques.....	54
IV.2.1.Dispositif d'essais	55
IV.2.2.Présentation des résultats	56
IV.3. Conclusion	59
Conclusion générale	60

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

De nos jours, l'utilisation des ressources naturelles dans les matériaux composites devient de plus en plus fréquente, et ce, du fait que ces ressources sont moins coûteuses et facilement maniables. De plus, les tendances industrielles se penchent vers des produits propres et écologiques, d'où l'intérêt d'intégrer des produits naturels facilement recyclable et biodégradables. Il est donc important de faire le point sur les différentes catégories de matériaux issus de ressources renouvelables et biodégradables.

Certains secteurs industriels, comme l'emballage et le transport, s'intéressent à l'utilisation de fibres cellulosiques qui conduisent à des produits de bonnes performances ayant une bonne aptitude à la mise en forme [1]. Les constructeurs automobiles utilisent des tapis fabriqués à base d'abaca. Notamment, le lin et le chanvre sont utilisés dans la fabrication des portes à panneaux pressés, tablettes arrière, dossiers de siège, boucliers moteur et appuie-tête. Pour les consommateurs, les composites à base des fibres végétales dans les voitures fournissent une meilleure isolation thermique et acoustique, par rapport aux fibres synthétiques [2]. Cependant, le manque d'adhésion avec les matrices polymères est une difficulté qui peut empêcher un large usage des fibres végétales dans les composites. Le caractère hydrophobe de la majorité des polymères et le caractère hydrophile des fibres végétales affectent négativement l'adhésion. Pour minimiser ces problèmes, la modification de la surface des fibres est généralement nécessaire afin d'améliorer leur adhésion avec la matrice polymérique et réduire l'absorption d'humidité. Il a été démontré qu'un traitement approprié appliqué sur les fibres peut entraîner une compatibilité avec la matrice polymère, ce qui améliore la qualité des composites. Des méthodes variées comme le traitement alcalin, le traitement avec des silanes ou encore avec d'autres produits chimiques ont permis d'améliorer la compatibilité des fibres avec la matrice polymérique [3].

En Algérie l'alfa, le diss, le crin végétal, sisal et le liège se trouvent abondants. Leurs récoltes et leurs industrialisations sont une source de revenus considérable pour des populations entières. Certaines de ces fibres végétales locales sont intéressantes du point de vue économique, car leur abondance permet d'envisager la possible d'utilisation pour la production de matériaux composites à base de matrice polymérique. Aussi, l'arbrisseau est facile à récolter, ne nécessite pas beaucoup d'eau et supporte la chaleur.

Introduction générale

L'objectif de ce mémoire est l'élaboration et la caractérisation d'un nouveau matériau composite à base d'une fibre végétale : Le Sisal. Des essais de caractérisation des matériaux, de confection des différents spécimens ainsi que des essais thermiques, pour identifier le comportement d'un mortier à base de fibres végétales, sont réalisés avec soin pour en mesurer l'apport de ces fibres présentes dans la matrice cimentaire.

Ce mémoire s'articule sur deux grandes parties: une étude bibliographique et un protocole expérimental. L'étude bibliographique se répartie en deux chapitres: Le premier chapitre est consacré à une analyse bibliographique sur le mortier dans tous ses états, leurs compositions, la résistance mécanique ainsi que leur caractéristique. Une synthèse bibliographique sur les fibres (classification, composition chimique, traitements, propriétés physiques et mécaniques, les avantages et les inconvénients) est détaillée dans le deuxième chapitre.

Le protocole expérimental s'articule autour du chapitre trois et quatre. Le troisième chapitre, comprend les matériaux utilisés ainsi que les techniques expérimentales utilisées. Le quatrième chapitre présente tous les résultats sous forme de graphes, tableaux et histogrammes. Ce dernier est consacré à la discussion de l'ensemble des résultats obtenus à partir des différents tests effectués.

Enfin, dans la conclusion, nous évoquerons les principaux résultats trouvés et nous décrirons les perspectives ouvertes par ce travail.

Première partie

Étude bibliographique

Chapitre I

Le mortier dans tous ses **états**

I.1. Introduction

Dans toute construction, il est indispensable de réunir entre eux les différents éléments (blocs de béton, briques, éléments en béton préfabriqué, etc.) au moyen d'un mortier de ciment ou d'autre liant qui a pour but de:

- Solidariser les éléments entre eux;
- Assurer la stabilité de l'ouvrage;
- Comblers les interstices entre les blocs de construction.

Le mortier est obtenu par le mélange d'un liant (chaux ou ciment), de sable, d'eau et éventuellement d'additions. Des compositions multiples de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables; leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement. La durée de malaxage doit être optimum, afin d'obtenir un mélange homogène et régulier. Les mortiers peuvent être:

- Préparer sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants y compris les adjuvants.
- Préparer sur le chantier à partir de mortiers industriels secs préposés et avant l'utilisation, il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire.
- Livrer par une centrale: ce sont des mortiers prêts à l'emploi.

Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années; permettant d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers. 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 monocouche),
- La pose des carrelages (mortier colles et mortier des joints),
- La préparation des sols (chapes, ragréages, enduits de lissage, d'égalisation),
- Les assemblages (élément de maçonnerie, fixation des éléments de cloisons et de doublage),

- L'isolation et l'étanchéité (système d'isolation thermique par l'extérieur, d'imperméabilisation, d'étanchéité, d'isolation phonique, d'ignifugation),
- Les travaux spéciaux (gunitage, épations d'ouvrage d'art et de génie civil, scellement et calages, coulis d'injection, cuvelages).

Les mortiers sont très utilisés pour des travaux de tous types, ces derniers se déclinent en divers produits, qu'ils soient de ciment, de chaux ou de résine, tous ne s'utilisent pas de la même façon. Dans ce chapitre, nous présenterons les différents types ainsi que les caractéristiques principales telles que les constituants, classification des mortiers, emplois, le rôle, méthode de formulation et les essais.

I.2. Les mortiers

I.2.1. Définition

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, différant selon les réalisations et d'adjuvant. Dans ce chapitre, nous présentèrent les différents types ainsi que les caractéristiques principales telles que l'ouvrabilité, la prise, le retrait,...

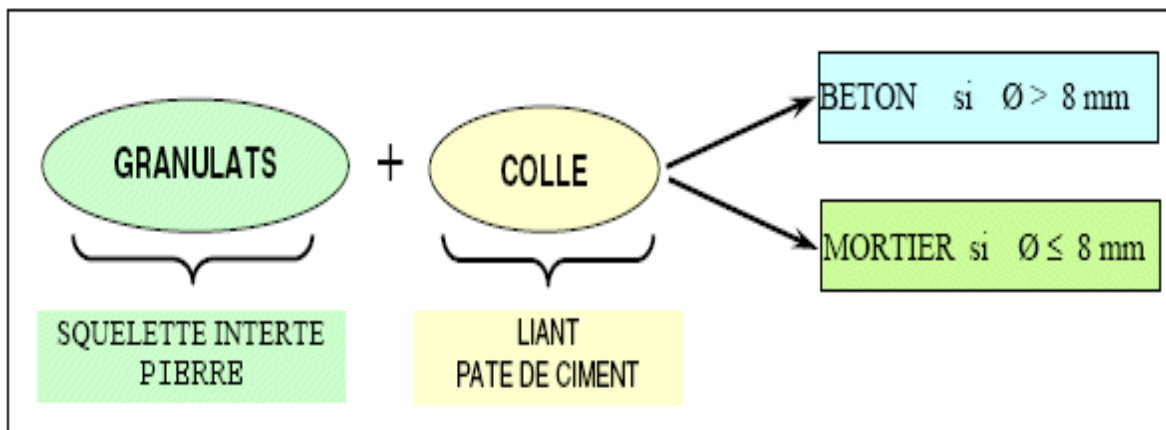


Figure I.1: Constituants des mortiers [10].

I.2.2. Constituants des mortiers

I.2.2.1. Le Liant

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, ce dernier est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de chaux obtenue par la cuisson [1]. Généralement, on peut utiliser:

- Les ciments normalisés (gris ou blanc).
- Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt,...).
- Les liants à maçonner.
- Les chaux hydrauliques naturelles.
- Les chaux éteintes.



Figure I.2: Le ciment

I.2.2.2. Le sable

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres. On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière. Le terrain dans lequel le sable grossier domine, manque d'homogénéité, sa trop grande perméabilité ne lui permet pas de retenir les engrais solubles, qui sont entraînés par les eaux avant d'avoir produit leur effet, amenant, en outre, l'assèchement rapide du sol. Des amendements sont nécessaires pour corriger les défauts des sols sableux; l'apport de marne

argileuse donne de la cohésion aux terrains qui en manquent, mais le fumier de ferme, en augmentant l'humus, est dans tous les cas le meilleur des traitements: il apporte au sable grossier l'agglomérant dont il a besoin et au sable fin l'allègement et l'aération qui lui font défaut [2]. On distingue:

➤ **Sable d'origine naturelle**

Le sable est une roche sédimentaire meuble, constituée principalement de quartz, provenant de la désagrégation des roches sous l'action de divers agents d'érosion et de l'altération des roches riches en quartz (granites, gneiss) sous l'action de processus physiques (vent, eaux courantes) ou chimiques (action dissolvante de l'eau). Les grains de sable qui se forment sont généralement gros et anguleux, difficilement transportables par le vent et les cours d'eau. Les plus gros grains de sable se retrouvent ainsi le long des cours d'eau, aux bords des mers, ou dans les régions désertiques.

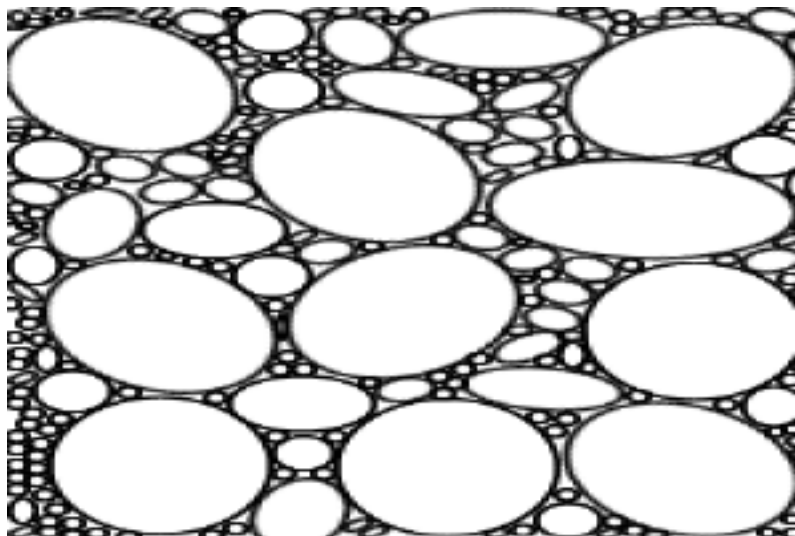


Figure I.3: Sable roulé (naturel) [10].

➤ **Sable d'origine artificielle**

Provient de concassage des roches naturelles comme le calcaire, ou artificielle (pouzzolane), dit aussi sable concassé, caractérisées par une meilleure adhérence agrégat/liant.

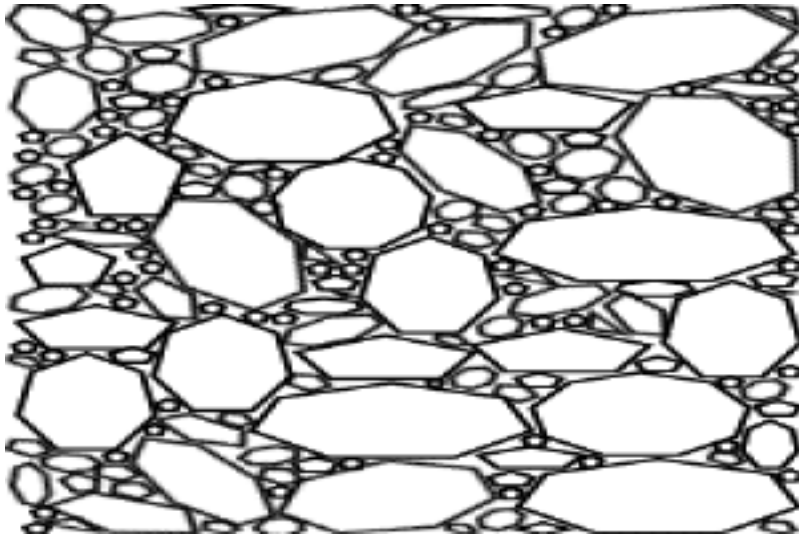


Figure I.4: Sable concassé (Artificiel) [10].

a. Granulométrie

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est:

- Extra-fins: jusqu'à 0,08 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire).
- Fins: jusqu'à 1,6 mm.
- Moyens: jusqu'à 3,15 mm.
- Gros: jusqu'à 5 mm.

b. Rôle de sable dans le mortier

L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques. Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: Ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide.

c. Exigences sur le sable d'usage général

Le sable doit être siliceux, silico-calcaire ou même calcaire à condition que les grains ne soient pas friables. Il doit être propre, c'est-à-dire dépourvu d'impuretés susceptibles de compromettre la qualité du mortier en œuvre (argile, vase, terre végétale, plâtre, sels minéraux). Le degré de propreté du sable est mesuré par l'essai d'équivalent de sable.

L'indice fourni par cet essai (ESV) doit être inférieur à 75%. Il est préférable d'utiliser des sables roulés de rivière. Les sables de carrière conviennent s'ils ne renferment pas d'impuretés nocives. Les sables de mer doivent être lavés (sinon ils sèchent mal et peuvent donner lieu à des efflorescences en raison des sels qu'ils contiennent). La granulométrie des sables doit être limitée à 3mm.

I.2.2.3. L'eau de gâchage

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours, le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale.

I.2.2.4. Les additifs

a. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons et mortiers. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants, les superplastifiants (haut réducteurs d'eau), les entraîneurs d'air, les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs) et les hydrofuges. Cependant, leur emploi n'est généralement pas recommandé, pour les raisons suivantes:

- On ajoute les adjuvants qui servent à aérer en vue d'améliorer la maniabilité et la durabilité du mortier. Toutefois, des recherches ont démontré que des contenus d'air dans le mortier en excès de 12 % augmentent la probabilité que l'humidité y pénètre en plus de diminuer l'adhérence.
- On utilise quelque fois un antigel pour abaisser le point de congélation du mortier afin de poser de la brique par temps froid. Toutefois, pour que cette méthode soit efficace,

il faut ajouter une quantité considérable et cela diminue considérablement l'adhérence, en plus de contribuer à l'efflorescence et à l'effritement des surfaces du briquetage.

- Les accélérateurs comme le chlorure de calcium servent à accélérer l'hydratation du mortier par temps froid en vue d'éviter de chauffer les matériaux du mortier. Toutefois, le chlorure de calcium chlorite tend à corroder l'armature dans le mortier. Les accélérateurs, même ceux qui ne contiennent pas de chlorure de calcium, ont tendance à causer de l'efflorescence.

Une bonne composition du mélange, l'utilisation de matériaux de qualité et une bonne technique permettent habituellement d'obtenir une maçonnerie solide. Par contre, une mauvaise composition, l'utilisation de matériaux de qualité inférieure et une technique défectueuse ne peuvent pas être corrigées par l'emploi d'adjuvants [9].

I.3. Différents types des mortiers

Les mortiers se partagent en différents types [3] et [8]

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, on distingue: le mortier de pose, mortier de joints, mortier pour les crépis, mortier pour le sol, mortier d'injection, mortier pour les mosaïques, mortier de réparation pour pierres,...).

- **Mortier de ciment portland**

Le ciment portland donne au mortier de maçonnerie sa résistance mécanique, en particulier la résistance initiale. Les mortiers de ciment portland manquent de plasticité, ont un faible pouvoir de rétention d'eau et sont difficiles à travailler. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1,3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 0,35.

- **Mortier de chaux**

C'est le composant traditionnel du mortier, il possède une plasticité et un pouvoir de rétention d'eau excellent, mais sa résistance mécanique est faible et sa cure est lente. La cure des mortiers de chaux s'effectue lentement par carbonatation sous l'effet du gaz carbonique de l'air; ce processus peut être fortement ralenti par un temps froid et humide.

➤ **Mortiers bâtards**

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux, dans les proportions égales, suivant leur domaine d'utilisation éventuelle, les compositions de chaux et ciment peuvent être variées.

➤ **Mortier à base de ciment de maçonnerie**

C'est un produit contenant du ciment portland et un filler minéral inerte (calcaire) et des adjuvants tels que des agents mouillants, des agents hydrofuges et des entraîneurs d'air, les adjuvants donnent la plasticité et le pouvoir de rétention d'eau que confère la chaux aux mortiers de ciment. Certains ciments de maçonnerie sont des mélanges de ciment portland et de chaux hydratée, avec des adjuvants

I.3.1. Les mortiers de ciment

Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables. Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour 1m³de sable

I.3.2. Les mortiers de chaux

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique.

I.3.3. Les mortiers bâtards

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales; mais on mettra une quantité plus ou moins grande l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

I.3.4. Mortier réfractaire

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues ...

I.3.5. Mortier rapide

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements.

I.3.6. Mortier industriel

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins:

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- Mortiers d'imperméabilisation.
- Mortier d'isolation thermique.
- Mortier de jointoiement.
- Mortier de ragréage.²
- Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment ...
- Mortier de réparation.

I.4. Caractéristiques des mortiers

Les caractéristiques principales des mortiers sont: [7]

I.4.1. Ouvrabilité

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils. Les plus connus sont:

➤ **Table à secousses**

Après le démoulage du mortier, ce dernier reçoit 15 chocs en 15 secondes. On mesure le diamètre de la galette ainsi obtenue. L'étalement en % est donné par la formule:

$$E\% = 100 \frac{D_r - D_i}{D_i}$$

Avec: D_r : diamètre final

D_i : diamètre initial

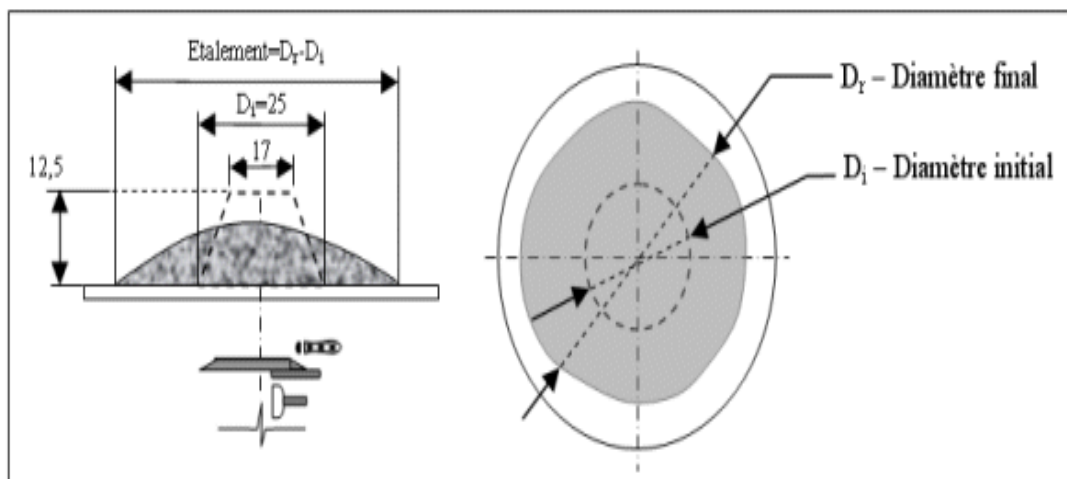


Figure I.5: Table à secousses[11].

➤ **Maniabilimètre du LCPC**

Il est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibreur. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibrations pour atteindre un repère gravé sur la face intérieure du moule.

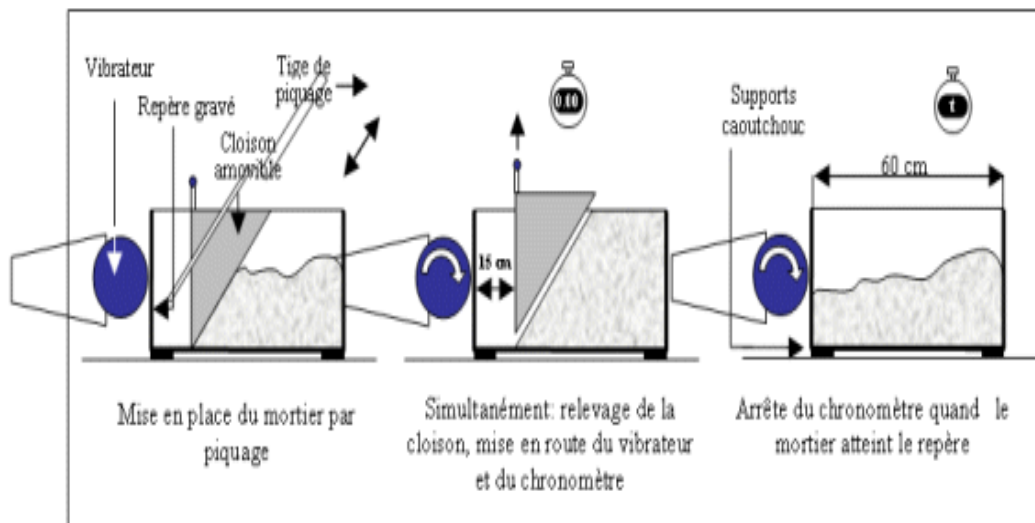


Figure I.6: Principe de fonctionnement du maniabilimètre [10].

➤ **Le cône**

Dans le cas d'un mortier fluide, on peut mesurer le temps d'écoulement d'une certaine quantité de mortier au travers d'un ajustage calibré situé à la partie inférieure d'un cône. Le cône peut aussi être muni d'un vibreur.

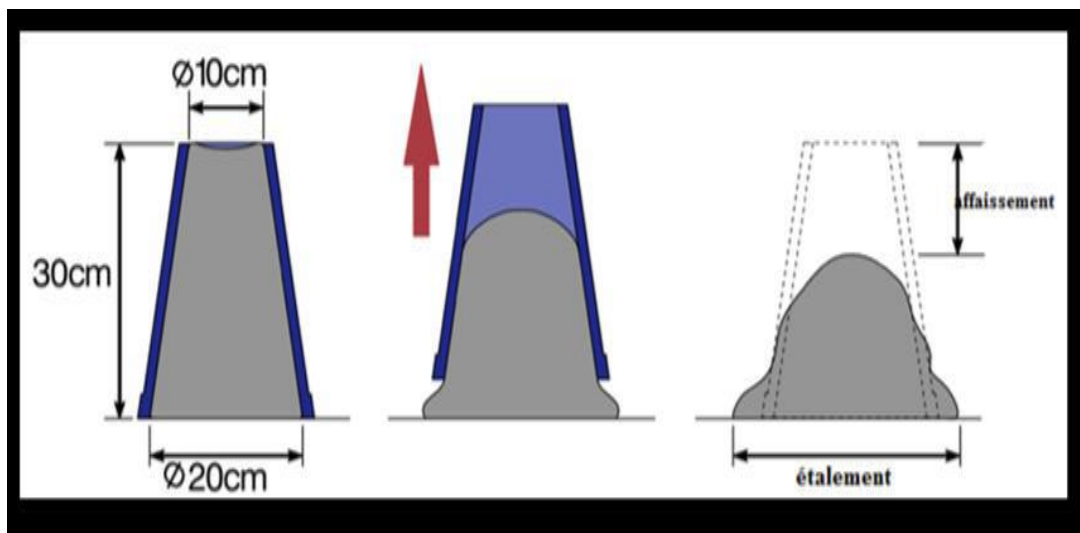


Figure I.7 : Cône [11]

I.4.2. La prise

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat). Il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même

appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est de 1000 grammes. Le début de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de prise est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur[4-5].

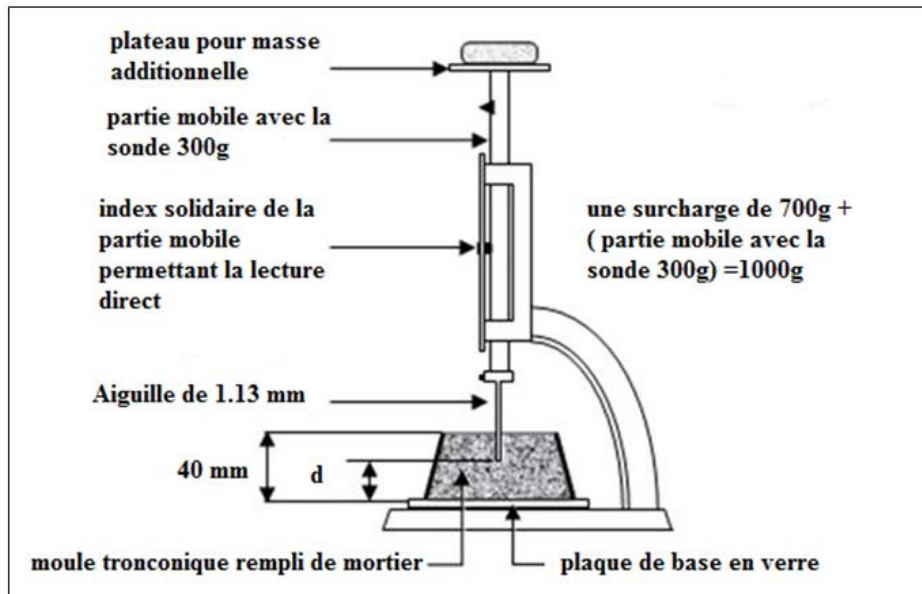


Figure I.8: Appareil de Vicat muni de l'aiguille avec une surcharge [11].

I.5. Résistances mécaniques

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de 4x4x16cm conservés dans l'eau à 20°C. Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours). Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs:

- Nature et dosage en ciment.
- Rapport E/C.
- Granulométrie et nature du sable.
- Énergie de malaxage et mise en œuvre.
- Protection des premiers jours.

I.6. Retraits et gonflements

I.6.1. Le Retrait

Les retraits se mesurent sur des prismes 4x4x16cm en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20°C et à 50% d'humidité relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 28 jours.

Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de la pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1,5 à 2,5 les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2,5 à 3,5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment) [4].

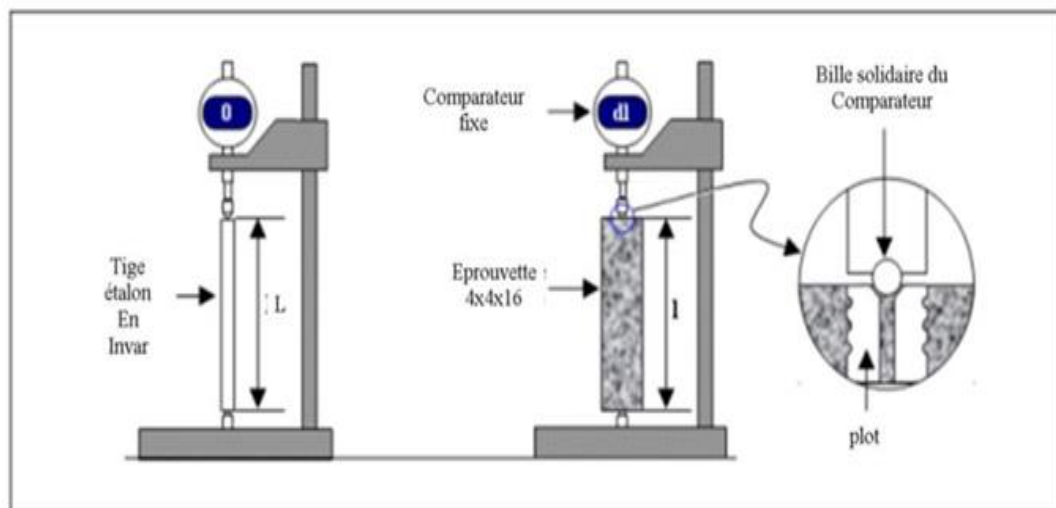


Figure I.9 : Appareillage pour la mesure du retrait[11].

I.6.2. Le gonflement

Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de 4x4x16cm conservées dans l'eau à 20°C. Ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion aux aiguilles de le Chatelier inférieure sur pâte pure à 10mm) [5].

I.7. Masse volumique apparente

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (y compris les vides et les capillaires). Elle est exprimée en (g/cm^3 , kg/m^3 ou t/m^3).

I.8. Masse volumique absolue

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule sans tenir compte les vides et les pores). Elle est exprimée en (g/cm^3 , kg/m^3 ou t/m^3).

I.9. Porosité et compacité

I.9.1. La porosité

La porosité est la conséquence naturelle de la quantité d'eau mise en plus de celle nécessaire à l'hydratation et des vides éventuels présents dans les granulats. La quantité d'eau pouvant être liée chimiquement par un ciment Portland est d'environ 25 % de la masse de ciment. La porosité se calcule par le rapport du volume vide sur le volume total [6].

$P = \text{volume de vide} / \text{volume totale}$

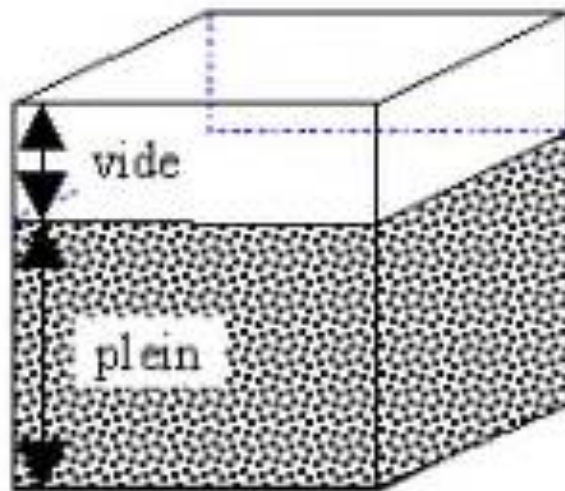


Figure I.10 : Volume quelconque [10].

I.9.2. La compacité

La compacité du squelette granulaire améliore la maniabilité du mortier et permet de réduire la quantité de pâte de ciment à mettre en œuvre. À quantité de pâte égale, plus la compacité est importante, plus le mortier de ciment sera plastique. Le plastifiant (réducteur d'eau) a pour fonction de réduire la quantité d'eau, d'augmenter la compacité entraînant une amélioration des résistances, de faciliter la mise en place, d'augmenter la maniabilité en réduisant la ségrégation. La compacité est le rapport du volume des pleins sur le volume total.

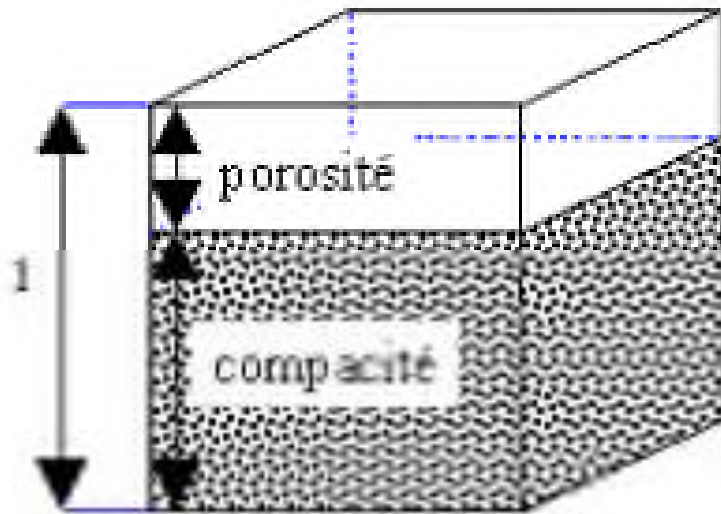


Figure I.11 : Volume unitaire [10].

I.10. Préparation des mortiers

La préparation du mortier s'appelle le gâchage, il s'agit simplement de mélanger les trois composants, ciment, sable et eau.

I.10.1. Fabrication à la main

Il faut tout d'abord, avec la pelle, mélanger à sec le sable et liant aussi parfaitement que possible et former ensuite au milieu du mélange une cuvette qui recevra l'eau de gâchage. La masse est humectée progressivement puis malaxée à l'aide d'un robot à mortier. Cependant il faut que:

- Le mélange à sec doit être fait soigneusement pour que le liant soit parfaitement réparti dans toute la masse.
- L'eau doit être versée en plusieurs fois, d'abord pour la commodité et la qualité du mélange, ensuite parce qu'il est facile d'ajouter un peu d'eau alors qu'on ne peut pas en enlever.

I.10.2. Fabrication mécanique

La fabrication des mortiers se fait à l'aide des engins appelés bétonnières. Avec certains modèles, le mélange doit être fait à sec, en partie avant l'introduction dans les

tambours mélangeur où il est mouillé convenablement. D'autres font elles-mêmes le mélange complet: on introduit soit directement dans le tombeur, soit dans une benne, l'ensemble des éléments constitutifs du mortier. L'opération ne dure que quelques minutes, elle est beaucoup plus rapide et moins pénible qu'à la main.

I.11. Domaines d'utilisation des mortiers

I.11.1. Le hourdage de maçonnerie

La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche. [4]



Figure I.12: Pose de mortier de hourdage [11].

I.11.2. Les enduits

Ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. À côté des enduits traditionnels en trois couches décrits dans la norme NF P 15 201-1 et 2 (DTU 26.1), se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants [4]



Figure I.13: Enduits isolants et enduits de façade[11].

I.11.3. Les chapes

Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Les chapes peuvent constituer la finition: on y incorpore alors souvent des produits spécifiques. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol. Les chapes doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels). Adhérente ou flottante, la chape peut également avoir une fonction thermique ou acoustique. [5]



Figure I.14: Les chapes fluides et chape ciment[11].

I.11.4. Les scellements et les calages:

La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser: scellements d'éléments de couverture, d'éléments de second œuvre, de mobiliers urbains, de regards de visite. [5]



Figure I.15 : Les scellements [11].

I.12. Conclusion

Ce chapitre présente une étude bibliographique sur les mortiers, leur composition, domaine d'utilisation ainsi que les différents types de mortiers. Une construction se caractérise par l'assemblage d'éléments de maçonnerie dont la liaison est assurée au moyen de mortier. Le mortier s'obtient grâce à un mélange d'eau, de sable et d'un liant (ciment et chaux) pour sceller les éléments, les lier entre eux, ou comme enduit. En fonction de l'objectif visé, le type de mortier est différent.

Chapitre II
Généralités sur les fibres
Végétales

II.1. Introduction

Depuis l'Antiquité, l'homme a élaboré des matériaux composites par combinaison de matières de natures différentes dans le but d'obtenir des matériaux aux propriétés spécifiques. De nombreux matériaux naturels lui ont fourni des modèles, tel que l'os rigide mais léger, formé de fibres de collagène dans une matrice minérale d'apatite dure et fragile, ou le bois, souple mais résistant formée d'un réseau de micro fibrilles de cellulose cimenté dans une matrice d'hémicellulose et lignine [1, 2].

La famille des matériaux composites à fibres, apparue dans les années 1940 n'a cessé de se développer en raison de leurs propriétés mécaniques associées souvent à une faible densité. Leur bon rapport coût/performance leur a ouvert une très large gamme d'application Dans des domaines varies; l'industrie aérospatial, automobile, maritime, ferroviaire, le bâtiment, l'ameublement, la décoration etc. [3]. Toutefois, même si le développement des composites est qualifiée de prometteur cette progression est néanmoins jalonné de quelque contraintes à surmonter dont par exemple celles liées à l'environnement, l'hygiène et la sécurité.

La valorisation des matériaux composites classiques avec leur armature en fibres de verre, d'aramide, ou bien de carbone pose un grand problème à leur fin de vie. Pour y palier les fibres naturelles sont de mises. Elles sont issues de ressources renouvelables elles sont biodégradables. Elles sont moins irritantes pour la peau et le système respiratoire des personnes qui les manipulent, par ailleurs les fibres naturelles ont une densité plus faible que les fibres minérales [4, 5]. Le faible coût et les propriétés mécaniques spécifiques élevées (résistance et rigidité) des fibres végétales sont des avantages essentiels, ainsi leur propension à absorber l'eau en grande quantité [6].

II.2. Les matières textiles

La matière est dite textile si elle permet la réalisation d'un fil, d'un non-tissé ou d'une étoffe. Cette matière se présente sous forme de fibres (dont la longueur est de quelques mm à plusieurs cm) ou de filaments (dont la longueur est de plusieurs mètres) et elle peut être classée selon son origine en deux catégories [23] comme le montre la figure II.1.

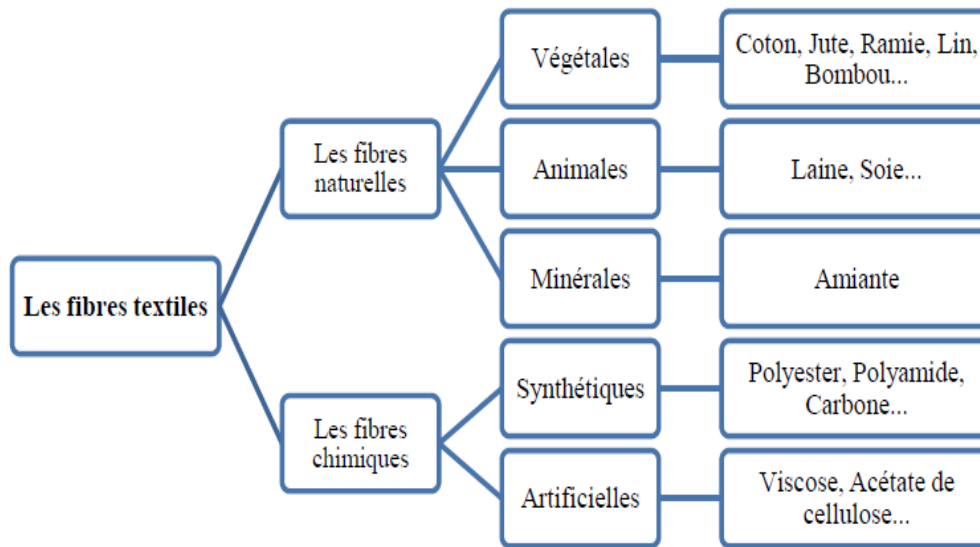


Figure II.1 : Classification des fibres textiles [24]

- Les fibres naturelles: des fibres animales ou végétales comme le coton et la laine ou minérales comme l'amiante.
- Les fibres chimiques: qui peuvent être des fibres synthétiques obtenues à partir de produits chimiques transformés comme le polyester ou des fibres artificielles qui sont généralement de la cellulose régénérée comme la viscose.

II.2.1. Matières d'origine naturelle

II.2.1.1. Matières d'origine végétale

Les fibres végétales sont des fibres issues de la biomasse. Elles sont essentiellement composées de cellulose, un polymère naturel ayant de longues chaînes moléculaires de glucose, d'hémicelluloses, de lignines et de pectines. Beaucoup de végétaux se prêtent à l'extraction de fibres, que ce soit à partir des tiges (lin, jute, chanvre), des feuilles (sisal), des graines (coton, kapok) ou encore des fruits (noix de coco). Ces fibres peuvent être classées en deux catégories : des fibres longues et des fibres courtes. Les fibres courtes sont généralement obtenues des fruits, des fleurs ou des graines de certaines plantes alors que les fibres longues sont extraites de l'écorce ou du liber de la tige ou des feuilles des plantes. Les fibres végétales sont très utilisées pour leur faible densité, leur pouvoir d'isolation thermique, leur propriétés

mécaniques et notamment pour leur biodégradabilité [25] [24]. La figure 2 représente quelques fibres végétales.

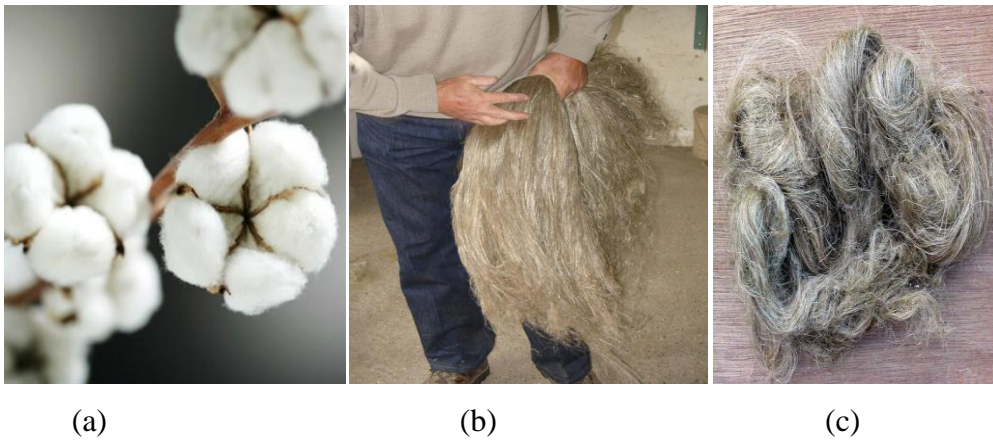


Figure II.2 : Exemples de fibres végétales : (a) Coton, (b) Lin, (c) Chanvre [33].

II.2.1.2. Matière d'origine animale

Les fibres animales sont composées de protéines (kératine s'il s'agit de laine, fibroïne s'il s'agit de soie). Figure II.3 illustre les fibres animales les plus utilisés. La fibre animale la plus utilisée est la fibre de laine grâce à ses propriétés d'isolation thermique, son bon pouvoir absorbant (16% à 18%) et son importante élasticité (45%). Les fibres protéiniques peuvent être classées selon leur provenance en deux familles:

- Des poils issues de la toison des différents mammifères (poils de mouton, chèvre, chameau, alpaga, lapin).
- Des sécrétions comme la soie issue de la bave du ver à soie (*bombyx mori*), les fils d'araignée, etc.

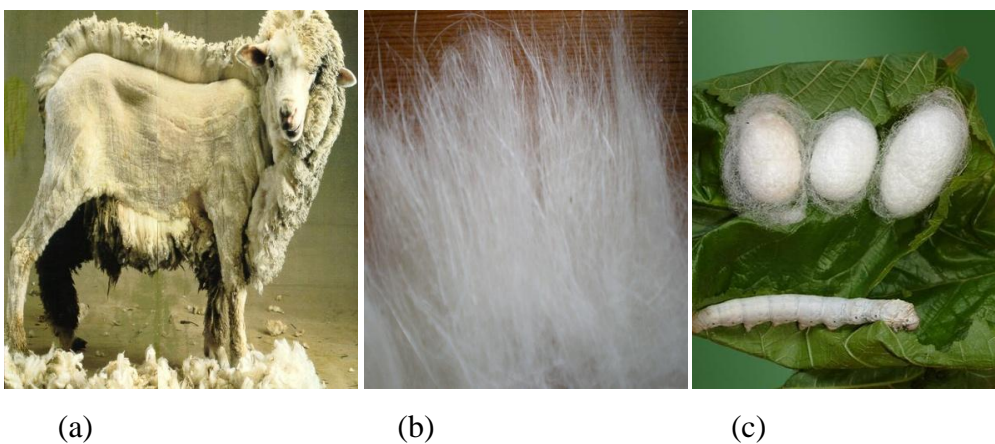


Figure II.3 : Exemples de fibres animales : laine, cachemire, soie[33].

II.2.1.3. Matières d'origine minérale

Ces fibres sont naturelles inorganiques soit intégralement naturelles comme l'amianté ou à partir de sources minérales telles que les roches ou le verre. Beaucoup considère l'amianté comme la seule fibre minérale naturelle qui a attiré l'attention par sa résistance à la chaleur, au feu, aux agressions électriques et chimiques et par son pouvoir absorbant mais l'utilisation de cette fibre a été interdite à cause des risques cancérogènes qu'elle présente [26].

II.2.2. Matières d'origine chimique

Les fibres chimiques sont classées selon leur origine en fibres artificielles et fibres synthétiques. Elles présentent l'avantage de la diversité des caractéristiques et la reproductibilité des propriétés par rapport aux fibres naturelles.

II.2.2.1. Les fibres textiles artificielles

Les fibres artificielles sont issues de polymères naturels modifiés [27]. Ces fibres peuvent être des fibres cellulosiques ou des fibres protéiniques.

- Les fibres cellulosiques sont généralement des celluloses régénérées telle que la viscose ou dérivées de la cellulose tels que l'acétate de cellulose, viscose, lyocell, modal, etc [28]. Ces fibres sont issues de cellulose synthétisée par la nature récupérée de la pâte à bois.
- Les fibres d'origine protéinique sont obtenues soit à partir de protéines animales comme pour Lanita ou caséine extraite à partir du lait ou à partir de protéines végétales comme pour l'alginate extrait à partir des algues et les fibres de maïs la zéine [29].
- Le latex qui est produit par certaines plantes sert à fabriquer des fibres de Latex ou de caoutchouc [30].

Quelque soit la fibre ou la matière utilisée, le but est d'avoir une fibre tout d'abord filable et qui répond à des propriétés spécifiques.

II.2.3. Les fibres textiles synthétiques

Les fibres synthétiques sont obtenues à partir de polymères synthétisés et fournies par l'industrie pétrochimique. Ces fibres sont apparues au 20ème siècle et depuis un très grand nombre de fibres synthétiques ont été fabriquées pour répondre à des besoins particuliers [31].

Ces polymères ont une structure macromoléculaire obtenue soit par polyaddition soit par polycondensation. Elles présentent l'avantage du faible coût, leur disponibilité et la possibilité d'adapter et modifier leurs propriétés en fonction de l'utilisation visée par contre les fibres synthétiques sont critiquées pour leur impact sur l'environnement que soit pendant le processus de fabrication ou leur difficulté de recyclage [31].

II.3. Les fibres végétales

Notre étude s'oriente vers l'utilisation de la fibre végétale dans le mortier. Une caractérisation expérimentale est programmée, pour évaluer le comportement thermique et définir l'apport de cette utilisation dans le confort thermique. À cet effet on ne s'intéressera qu'à ce type de fibres.

L'intérêt croissant de respecter l'environnement et l'encouragement à l'investissement durable a fait en sorte que l'industrie textile s'est intéressée de nouveau aux fibres végétales au détriment des ressources pétrolières. Les fibres végétales présentent une source renouvelable et écologique, contrairement aux fibres chimiques issue de ressources pétrolières qui sont de plus en plus rares et coûteuses sans oublier leur impact sur l'environnement. La figure 4 présente les différentes familles des fibres végétales.

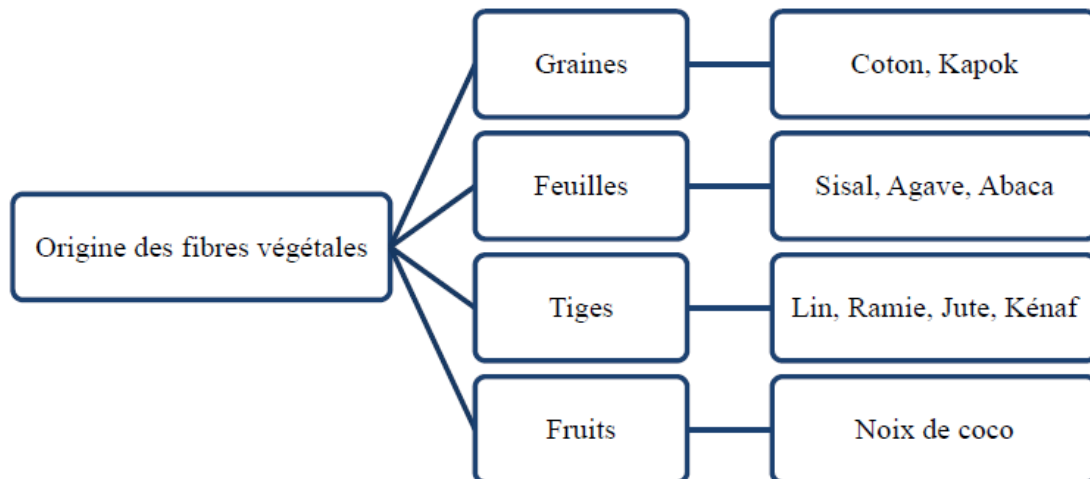


Figure II.4 : Origine des fibres végétales [33].

Selon leurs origines, on note une large variété de fibres végétales qui présentent aussi une variabilité dans leurs propriétés due non seulement à son origine mais aussi aux conditions de culture, de collecte et à la différence entre les variétés.

II.3.1. Définition de la fibre végétale

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 [7].

II.3.2. Classification des fibres végétales

Il existe plusieurs critères de différenciation des fibres:

✓ suivant l'organe de la plante dont elles sont issues, les fibres végétales peuvent être classées en fibres de tiges (jute, lin, ramie), et de feuilles (Sisal, paille de graminée) [1].

✓ Suivant leur teneur en holocellulose (cellulose et hémicellulose) et en lignine, on peut distinguer les fibres ligneuses (dures et rigide provenant de matériels ligneux tels que le bois d'œuvre, les résidus de l'industrie du bois et les fibres non ligneuses (douces, souples, issues de végétaux non ligneux souvent annuels relativement moins riches en lignine tels que le kénaf, le chanvre, le sisal, le jute et le lin) [7].

✓ Suivant leur longueur, les fibres végétales peuvent être groupées en deux catégories : fibres longues, dites libérienne, provenant des tiges et d'écorce de tiges de plantes annuelles. Elles sont douces, tandis que les fibres longues issues de feuilles ou de troncs d'arbre sont plus dures et plus rigides à cause de leur richesse en lignine. et fibres courtes ou étoupes qui sont associées aux fibres longues [1].

II.3.3. Morphologie de la fibre végétale

Sur le plan morphologique, la fibre végétale présente une variabilité très importante en fonction de son origine. En effet, les dimensions des fibres végétales dépendent de l'état de maturité et aussi des conditions environnementales de croissance de la plante. La variabilité du diamètre peut être très importante le long de la même fibre végétale (Figure. II.5) [8].

La fibre végétale se caractérise aussi par la variabilité de l'épaisseur de sa paroi cellulaire qui découle de celle de la porosité des fibrilles [9].

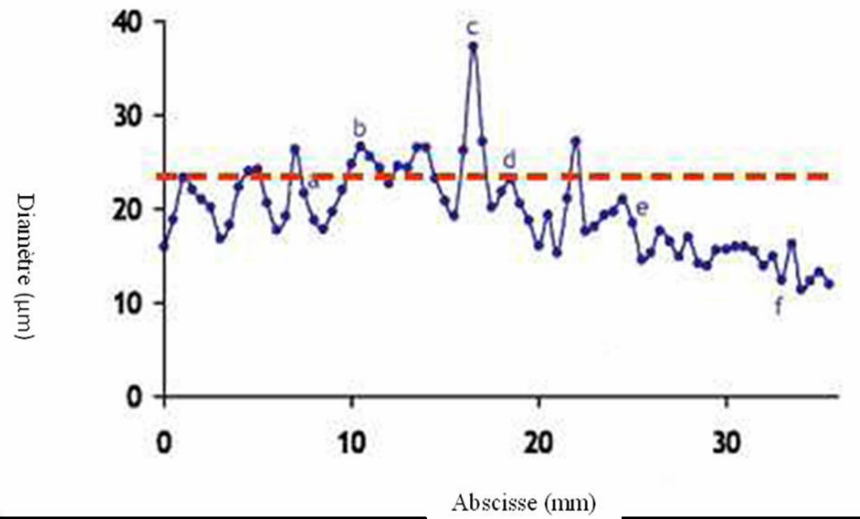


Figure. II.5: Variation du diamètre le long de la fibre de lin [8]

Tableau II.1: Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales [32].

Fibres	Longueur de la fibre (mm)	Diamètre de la fibre (µm)	Angle micro fibrillaire (°)	Référence
Coton	35	10-45	-	SAT 09
Lin	4-77	5-76	10	CHA 06
Chanvre	5-55	10-51	6.2	NEN 09
Kénaif	2.5-4.5	14-33	-	MIC 03
Jute	2.5	5-25	8	MIC 03
Sisal	900	8-50	20	SAT 09
Rami	900-1200	20-80	7.5	SAT 09
Noix de coco	03-1	12-24	45	CHA 06

La morphologie des fibres végétales peut constituer une donnée importante pour bien appréhender les transferts de contrainte aux interfaces fibre-matrice. La figure II.6 présente à titre d'exemple la structure torsadée d'une fibre de coton. D'autres fibres ont des morphologies, encore plus tourmentées. La géométrie des fibres végétales est donc un problème important et difficilement surmontable pour ce qui concerne la micromécanique des composites renforcée par de telles fibres [6]

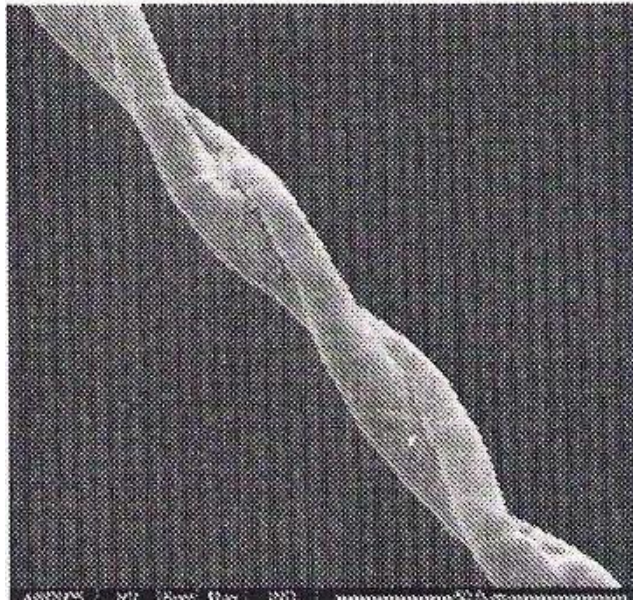


Figure II.6: Photographie en microscopie électronique à balayage d'une fibre de coton [6].

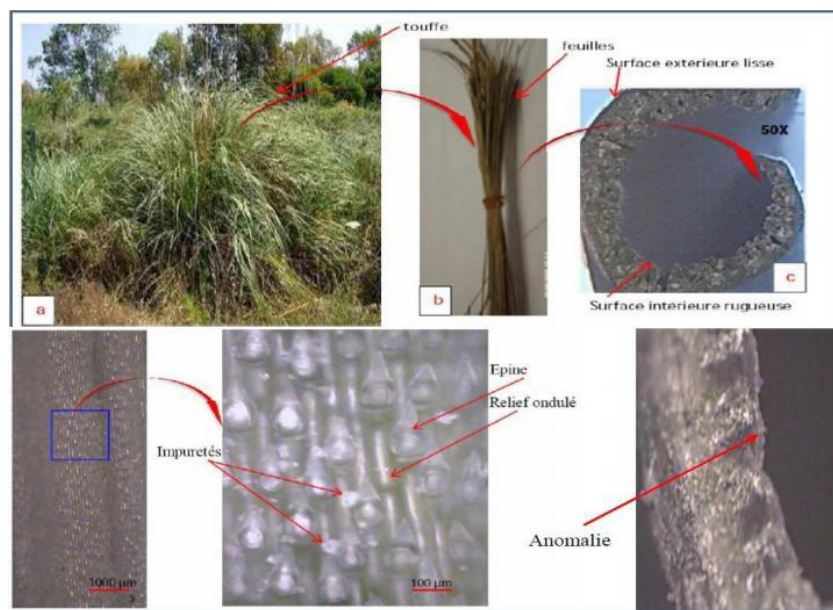


Figure II.7: Morphologie de fibre de diss [32].

II.3.4. Structure de la fibre végétale

La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de micro fibrille cellulosiques en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d'une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaison hydrogène et covalentes à la lignine [10].

La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et disposée en couche superposée dans le sens radiale. Ces différentes couches qui forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l'espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches de micro fibrilles (S1, S2, S3) (Figure II.8).

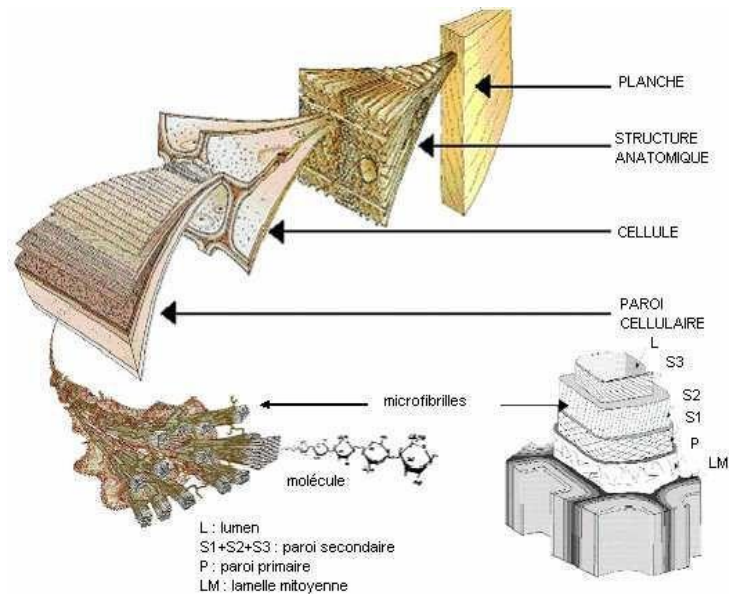


Figure II.8: Structure du bois (observations multi échelles) [7]

Les micros fibrilles décrivent par rapport à l'axe de la fibre, un angle micro fibrillaire (MAF) dont la valeur varie d'une espèce à l'autre. L'orientation des micros fibrilles par rapport à l'axe de la cellule joue un grand rôle dans les propriétés mécaniques des parois des fibres, plus que l'angle des micros fibrilles augmente, le module de Young (une mesure de la rigidité) décroît, tandis que l'extensibilité des parois augment [10].

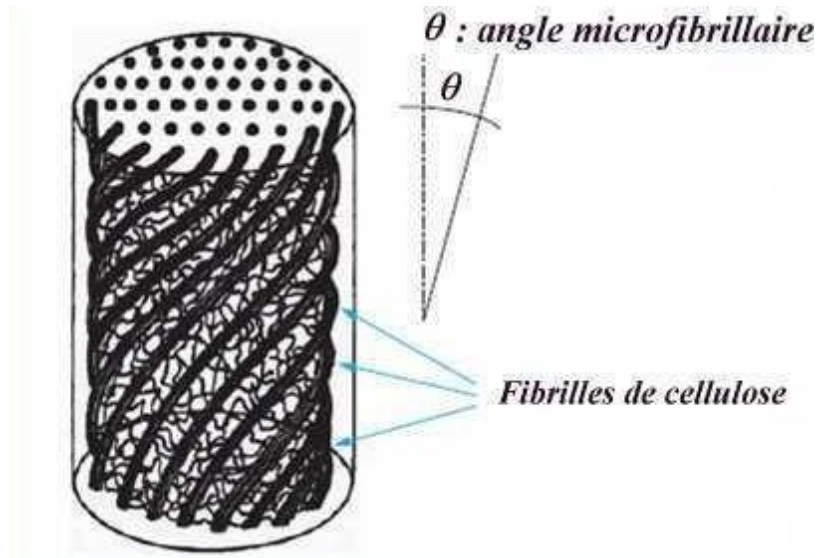


Figure II.9 : Modèle de description de la structure d'une fibre végétale [10].

II.3.5. Composition chimique des fibres végétales

La biomasse végétale est constituée de plusieurs macromolécules étroitement liées entre elles au sein de la paroi végétale. Comme nous l'avons vu précédemment les composés les plus majoritaires sont la cellulose, l'hémicellulose les pectines et les lignines. Ces différents constituants sont agencés de manière très complexe.

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

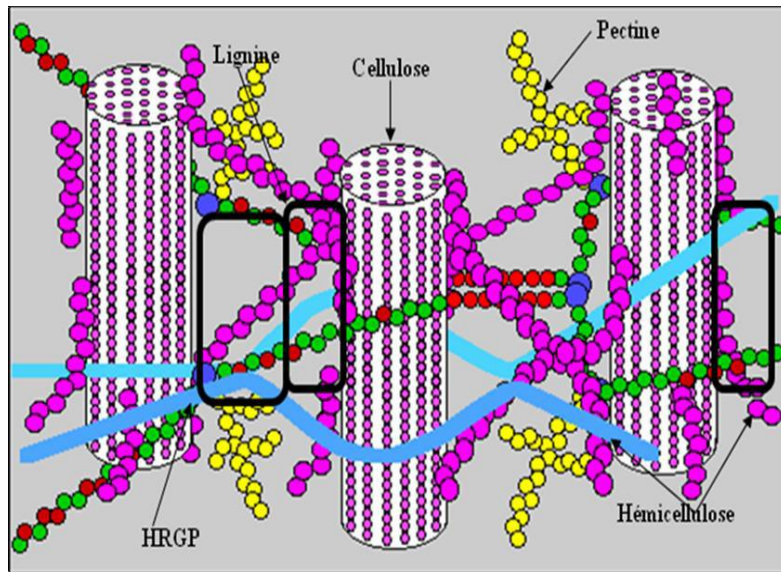


Figure II.10: Représentation schématique d'une fibre de bois [11].

II.3.5.1. Cellulose

La cellulose est le constituant principal de la masse végétale. Ce polymère linéaire de glucose présente est à l'état presque pur (>90%) dans la fibre de coton. Il est aussi, avec de la lignine, l'un des constituant essentielle du bois (50%) [12]. Selon Willtatter et Zechmeister (1913) la formule brute exacte de cette macromolécule est $(C_6H_{10}O_5)_n$. Elle est composée des unités de D-anhydrocopyranos reliées entre elle par des liaisons β 1-4. L'unité répétitive est le Cellobiose (deux glucoses réunis). Ces unités élémentaires s'associent par paquet pour former les micros fibrilles [13].

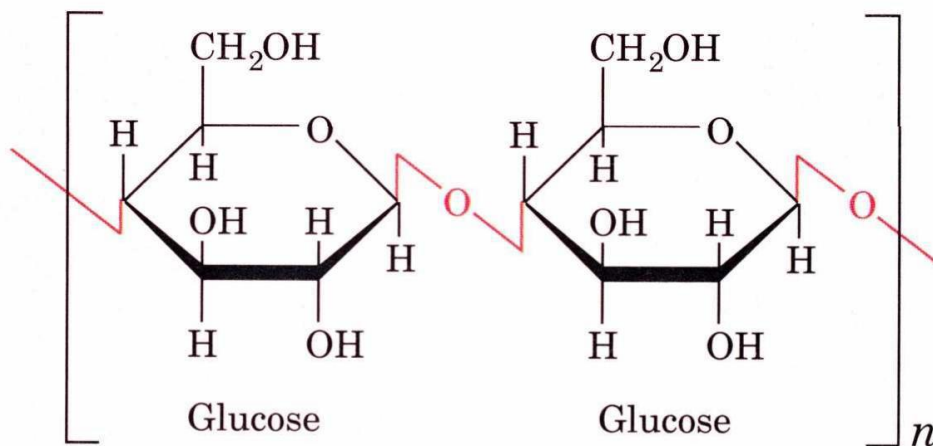


Figure II.11: Représentation de la chaîne de cellulose [14].

n : degré de polymérisation.

Le nombre de maillons D-glucopyranose (n), appelé degré de polymérisation (DP) n'est pas connu dans la cellulose native. De plus, il est toujours exprimé comme une moyenne puisque dans la plupart des échantillons, il y a une large distribution de masse moléculaire. Il diffère énormément selon l'origine de la cellulose, il est d'environ 26500 dans l'algue valonia 9000 dans le chanvre et dans le lin, et de l'ordre de 8000 pour l'épicéa [15]. La diffraction des rayons X par les monocristaux de la cellulose a permis d'établir que deux motifs β -D-glucopyranosyles adjacents ne sont pas dans le même plan moyen. Ceci est dû aux liaisons hydrogène intramoléculaires entre l'oxygène hétérocyclique et l'hydrogène du groupement hydroxyle fixée sur le carbone 3' (Figure II.12) Ainsi la dimension de l'unité cellobiose est toujours de 10.3Å.

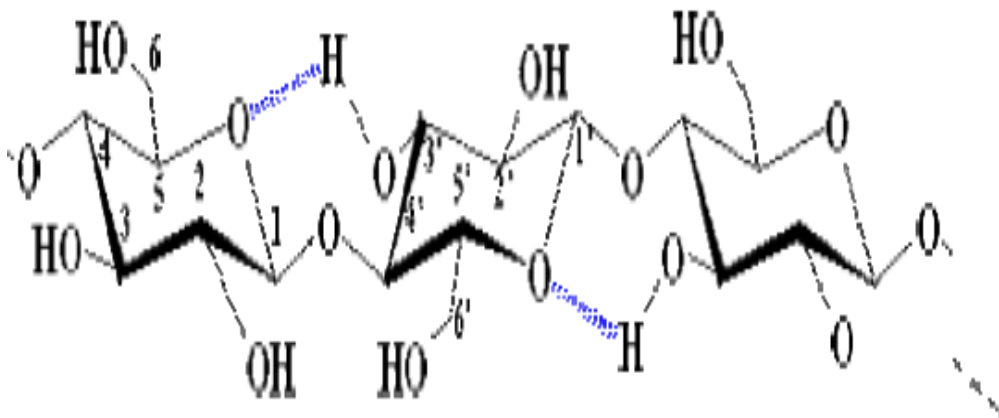


Figure II.12: Liaisons hydrogène O - H-3' intramoléculaires [15].

En raison du grand nombre de groupement Hydroxyles sur la chaîne, il existe de multiples possibilités de liaisons hydrogène intermoléculaires. De plus il existe d'autres liaisons hydrogène mettant en jeu des molécules d'eau qui sont ainsi intimement liées à la cellulose. Toutes ces contraintes font de la cellulose une molécule fibrillaire et partiellement cristalline [15].

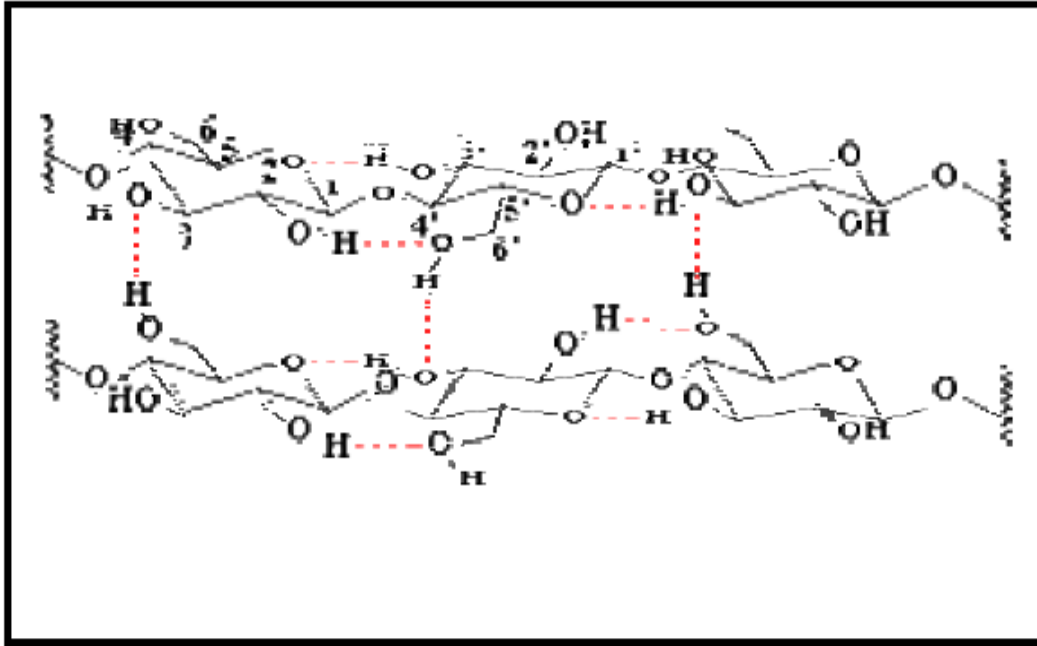


Figure II.13: Liaison hydrogène inter et intramoléculaires au sein de la fibre de cellulose [15].

Cet arrangement moléculaire ordonné des chaînes cellulosiques parallèles entre elles est la base d'un édifice cristallin que l'on appelle micro fibrilles. La hiérarchie de structure et l'organisation supramoléculaire de la cellulose sont schématisées dans (Figure II. 14) [13].

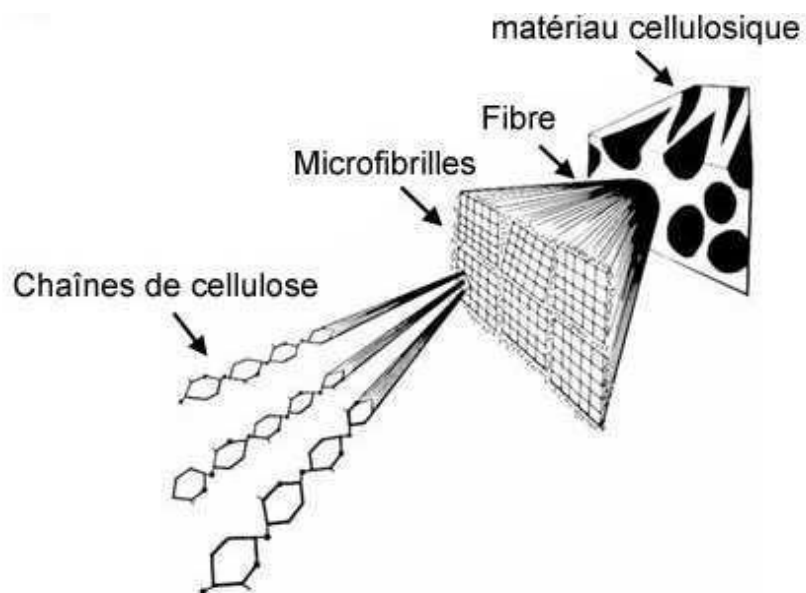


Figure II.14: Hiérarchie de structure dans une fibre cellulosique [13].

Dans la cellulose pure, la structure moléculaire est presque parfaitement régulière car elle ne contient de défauts que dans une unité sur mille environ. Le centre de ces microfibrilles est très cristallin tandis que les chaînes de surface sont de nature plus désordonnées et constituent des zones para cristallines. Ces zones, ainsi que les défauts de cristallinité qui surviennent lors de la biosynthèse de la cellulose forment la phase amorphe de la cellulose. Donc les microfibrilles de cellulose sont constituées de zones cristallines parfaitement ordonnées et de zones amorphes, au contraire, totalement désordonnées. (Figure. I. 15) [14].

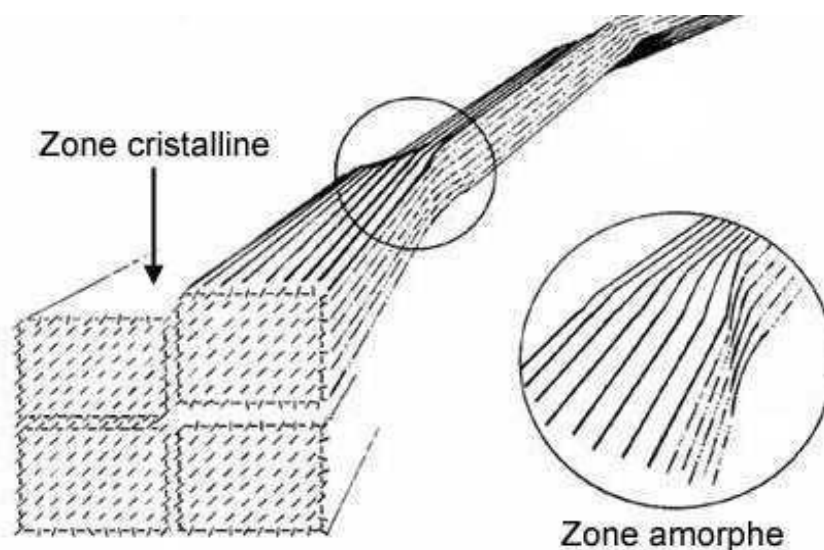


Figure II.15: Alternance des zones cristallines et désorganisées le long d'une microfibrille [13].

II.3.5.2. Hémicelluloses

On désigne par hémicellulose tout polysaccharide soluble dans l'eau et pouvant être extrait de la paroi des cellules végétales par des solutions acides. Les hémicelluloses sont une classe de polymères très variés (de nombreux monomères et de nombreux branchements différents). Elles sont donc assez mal définies. Dans leurs états naturels, leur structure est fonction de l'espèce végétale. Elles ont un degré de polymérisation compris entre 200 et 300. La figure II.16 montre les unités mono saccharidiques les plus représentatives des différentes familles d'hémicelluloses. Ce sont des polysaccharides dont la chaîne principale linéaire est constituée respectivement de xylose, de mannose et de galactose [16].

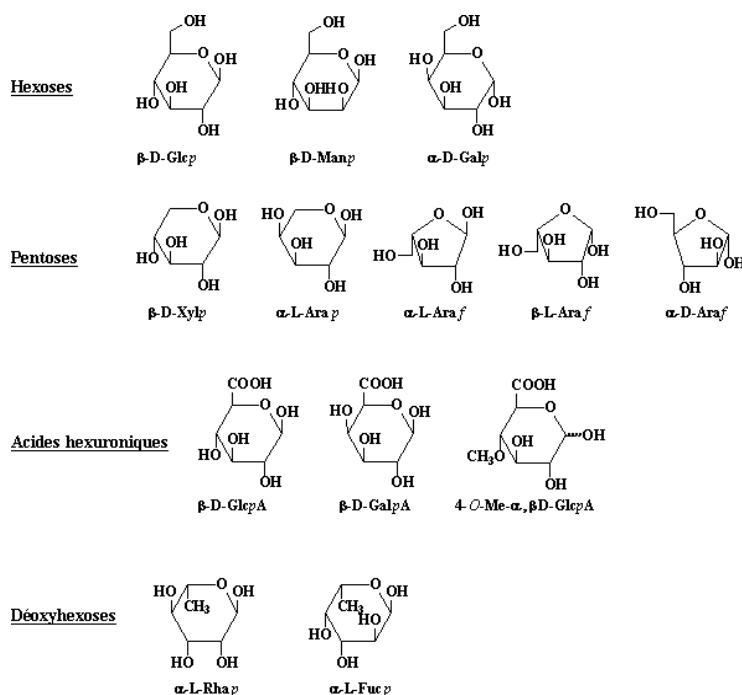


Figure II. 16: Principaux glucides constituant les hémicelluloses [16].

II.3.5.3. Pectines

Les pectines jouent un rôle capital dans l'architecture de la paroi végétale. Ces substances pectiques sont présentes avec des proportions variées dans la plupart des végétaux (environ 1% dans le bois). Elles jouent le rôle de ciment intercellulaire et contribuent à la cohésion des tissus végétaux [17].

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

Les pectines portent aussi des substances non sucrées, essentiellement le méthanol, l'acide acétique, l'acide phénolique et parfois des groupes d'amide. L'estérification des résidus d'acide galacturonique avec le méthanol ou l'acide acétique est une caractéristique qui joue un rôle très important sur les propriétés physicochimiques des pectines particulièrement sur la formation de gel [18].

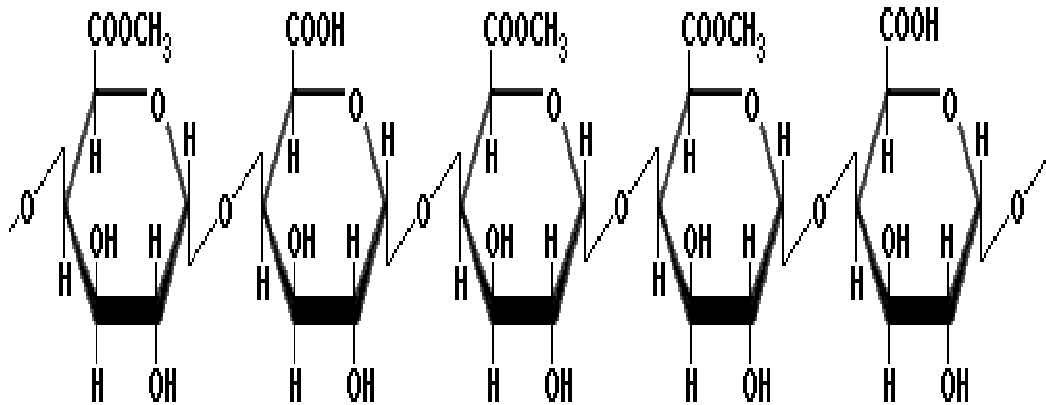


Figure II.17 : structure de la pectine [18].

II.3.5.4. Lignine

La lignine est après la cellulose, la matière organique renouvelable et la plus abondante à la surface terrestre. La lignine originelle ou "protolignine" constitue la plus importante fraction non saccharique des fibres végétales. C'est la matière "incrustante" de la cellulose. La lignine est constituée de polymères phénoliques tridimensionnels, amorphes possédant trois unités différentes de type pénylopropane : les alcools p-coumarylique, coniférylique et sinapylique [19].

Parce qu'il est impossible d'isoler la lignine native du bois sans la dégrader, sa masse moléculaire reste encore inconnue. Nous pouvons trouver des masses moléculaires approximatives dont les valeurs moyennes sont de 5000 à 10000 g/mol pour les bois durs (des feuillus), et de 20000 g/mol pour les bois tendres (des Résineux). La figure II.18 présentes les motifs élémentaires de la lignine.

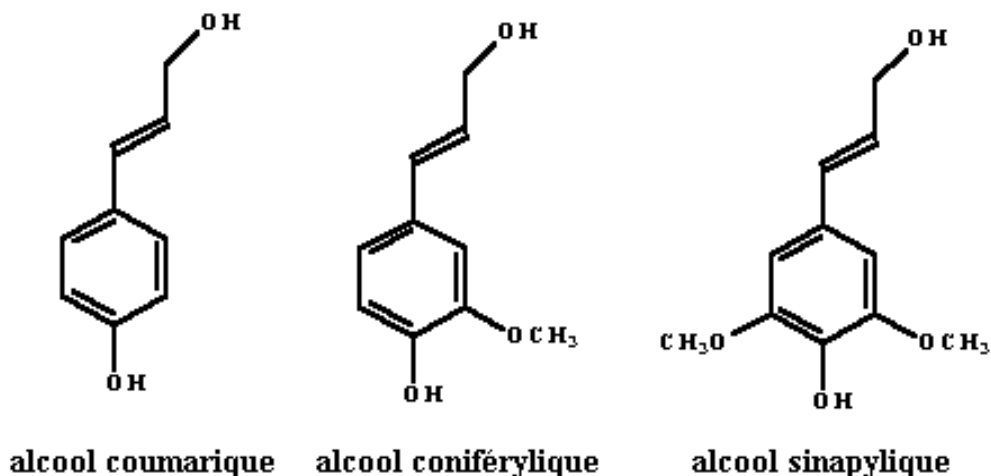


Figure II.18 : Motifs élémentaires de la lignine [11].

La lignine est peu sensible à la dégradation biologique et contribue à la protection naturelle des végétaux contre certaines attaques parasitaires [11].

II.3.5.5. Extractibles

Ce sont des molécules de faible masse molaire qui remplissent la lumière des cellules. Ils représentent 2 à 5 % de la masse sèche. La plupart de ces extractibles sont solubles dans l'eau ou des solvants organiques, d'où leur dénomination. La composition en extractibles varie en fonction de l'essence considérée et influe sur la couleur et l'odeur. Il s'agit de tanins, de pectines, de sucre et d'autres composés [20].

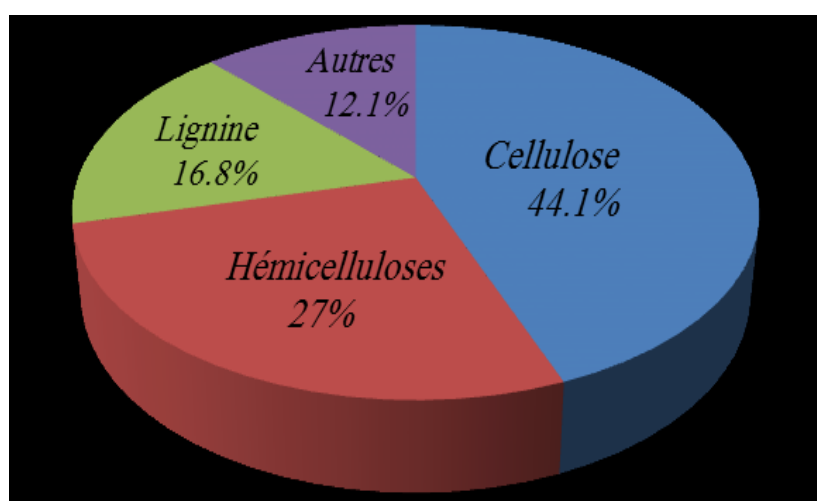


Figure II.19: Composition chimique des fibres de Diss en matière sèche (% en poids) [32].

Tableau II.2: Composition chimique (en %) de différentes fibres végétales [33].

Fibres	cellulose	hémicellulose	lignine	pectine	cire
coton	85-90	5,7	0,7-1,6	0-1	0,6
lin	71	18,6-20,6	2,2	2,3	1,7
chanvre	70-74	17,9-22,4	3,7-5,7	0,9	0,8
jute	61,1-71,5	13,6-20,4	12-13	0,2	0,5
ramie	68,6-76,2	13,1-16,7	0,6-0,7	1,9	0,3
sisal	66-78	10-14	10-14	10	2
coco	32-43	0,15-0,25	40-45	3-4	-
alpha	45	24	24	5	2

II.4. Propriétés mécaniques de la fibre végétale

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

La faiblesse de la masse volumique des fibres végétales ($1,2$ à $1,5 \text{ g/cm}^3$) confère à ces matériaux des propriétés mécaniques spécifiques intéressantes. Les fibres longues ont des contraintes en traction plus faibles que les fibres courtes, du fait que les premières ont de plus grandes probabilités de contenir des défauts de formation. La cellulose cristalline est l'un des polymères ayant un module d'élasticité relativement plus élevé ($90-137 \text{ Gpa}$), comparé à celui de la fibre de verre qui est de 75 Gpa . Ainsi un index de cristallinité de la cellulose d'une fibre élevé est indicateur de propriétés mécaniques élevées. Les fréquents défauts structuraux (Figure. II.20) observés de la surface des fibres sont des conséquences de la grande variabilité de morphologie, de composition chimique, de structure et de comportement mécanique spécifique de ces fibres.

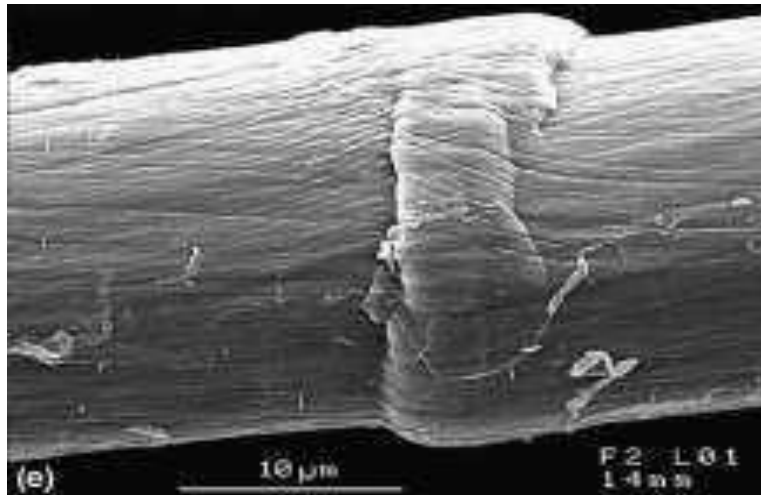


Figure II.20: Exemple de défaut structural sur une fibre de lin [8].

L'angle micro fibrillaire explique en partie la déformation élastique de la fibre végétale et dès lors son allongement à la rupture en traction. En effet, sous l'action de forces de traction relativement faibles, la fibre lignocellulosique subit une déformation réversible du fait de l'alignement progressif des micro fibrilles cellulosiques avec l'axe de la fibre et une déformation élasto-viscoplastique des polymères amorphes [8].

Si la sollicitation de la fibre est plus forte, la déformation de celle-ci entre dans une phase irréversible qui peut se poursuivre jusqu'à la rupture. Un angle micro fibrillaire élevé suppose une déformation élastique plus importante pour une sollicitation de la fibre en traction faible [21]. Le tableau II.3 ci-dessous présente les propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec certaines fibres de renforcement conventionnelles.

Tableau II.3: Propriétés mécaniques des fibres naturelles en comparaison avec des fibres de renforcement conventionnelles [10].

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

II.5.Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales

Les avantages et les inconvénients des fibres végétales en tant que renfort de matériaux polymères sont présentés dans le Tableau II.4 [22].

Tableau II.4: Les avantages et les inconvénients des fibres végétales.

Avantages	Inconvénients
<p>Faible coût.</p> <p>Biodégradabilité.</p> <p>Neutre pour l'émission de CO₂.</p> <p>Pas de résidus après incinération.</p> <p>Ressource renouvelable.</p> <p>Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité).</p> <p>Non abrasif pour les outillages.</p> <p>Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres.</p>	<p>Absorption d'eau. - Pour des applications industrielles, nécessite de gestion d'un stock.</p> <p>Fibres anisotropes.</p> <p>Faible stabilité dimensionnelle.</p> <p>Renfort discontinu.</p> <p>Faible tenue thermique 200 à 230°C</p> <p>Variation de qualité en fonction du lieu de croissance, des conditions météorologiques.</p>

II.6.Conclusion

Les fibres naturelles présentent de nombreux avantages (faible coût, ressource renouvelable, biodégradabilité, propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité). Comme tous les produits naturels, les propriétés mécaniques et physiques des fibres naturelles varient considérablement. Ces propriétés sont gouvernées par la composition chimique et structurale et dépendent du type de la fibre. La cellulose, le composant principal de toutes les fibres végétales, varie d'une fibre à une autre.

Deuxième partie

Étude Expérimentale

Chapitre III
Procédure expérimentale

III.1. Introduction

Ce chapitre présente les différents matériaux utilisés pour la confection des spécimens d'étude. Les étapes entreprises lors des essais de caractérisation des constituants sont présentés et mesurés dans le but d'en apprécier l'apport de la fibre de Sisal dans le comportement thermique d'un mortier allégé par la présence de cette fibre d'origine végétal. Plusieurs pourcentages sont considérés dans la confection des éprouvettes telles que : 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1% ,1.25%, 1.5%.

Tous les essais ont été réalisée au Laboratoire de Modélisation des Matériaux et de Structures de Génie-Civil à l'université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou mise à part les essais thermiques qui eux ont été menés dans un laboratoire à Université MIRA Abderhmane à Bejaïa. Nous avons réalisé le calcul de la proportion des constituants du mortier, construit le coffrage, l'incorporation de la fibre de Sisal de façon soignée et assuré le mûrissement des éprouvettes.

III.2. Présentation des matériaux étudiés

III.2. Constituants du mortier

Le mortier de par sa définition, est un mélange constitué de sable, d'eau et d'un liant, qui peut être la chaux ou le ciment. Dans ce programme expérimental, plusieurs mélanges ont été confectionnés avec différents pourcentages de fibres.

III.2.1. Le ciment

Le ciment de par sa texture est une matière pulvérulente, constitué de silicate et d'aluminate de chaux. Il est obtenu par cuisson à haute température d'une roche calcaire et de l'argile. Ces dernières sont broyées auxquelles sont associés très souvent des produits secondaires. Le mélange obtenu s'appelle le cru et est composé d'environ 80 % de calcaire et d'environ 20 % d'argile. Dans notre étude, nous avons utilisé un ciment portland de marque MATINE CEM II /B 42.5N.



Figure III.1: Le ciment.

Les caractéristiques du ciment inscrites sur la fiche technique sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.1 : Analyses chimiques

Paramètre	Valeur
Perte au feu	7.5-12
Résidus insoluble	0.7-2
Teneur en sulfates SO_3	2.2-7
Teneur en oxyde de magnésium	1-2.2
Teneur en chlorures	0.01-0.05
Teneur équivalent en alcalis	0.3-0.75

Tableau III.2 : Caractéristiques physiques du ciment.

Caractéristiques	Valeurs
S.S. Blaine (cm^2/g)	4150-5250
Consistance normale (%)	25-28.5
Début de prise (Min)	140-195
Fin de prise (Min)	195-290
Retrait à 28 jours ($\mu m/m$)	< 1000
Expansion (Mm)	0.3-2.5

III.2.2. Sable

Le sable utilisé provient d'une sablière. Pour éviter tout risque de perturbation des propriétés mécanique, nous avons lavé le sable, séché à l'étuve à une température de 105°C puis conservé dans l'enceinte du laboratoire.



Figure III.2 Le Sable.

➤ Analyse granulométrique

Une analyse granulométrique a été réalisée sur le sable pour déterminer la distribution des tailles des éléments composant l'échantillon analysé.

-**Refus** : on appelle refus sur un tamis la quantité du matériau qui est retenue sur le tamis.

-**Tamisa (passant)** : la quantité du matériau qui passe à travers le tamis.



Figure III.3 : Tamiseuse électrique.

Tableau III.3 : Analyse granulométrique du sable lavé.

Dimension des tamis en [mm]	Refus en [gr]	Refus cumulés en [gr]	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulés
5 mm	6.3	6.3	0.315	99.685
2.5 mm	0.2	6.5	0.325	99.675
1.25 mm	1127.9	1134.4	56.72	43.28
0.63 mm	408.7	1543.1	77.155	22.845
0.315 mm	215.8	1758.9	87.945	12.055
0.16 mm	160.8	1919.7	95.985	4.015
0.08 mm	64.8	1984.5	99*.225	0.775
fond	8.45	1992.95	99.6475	0.3525

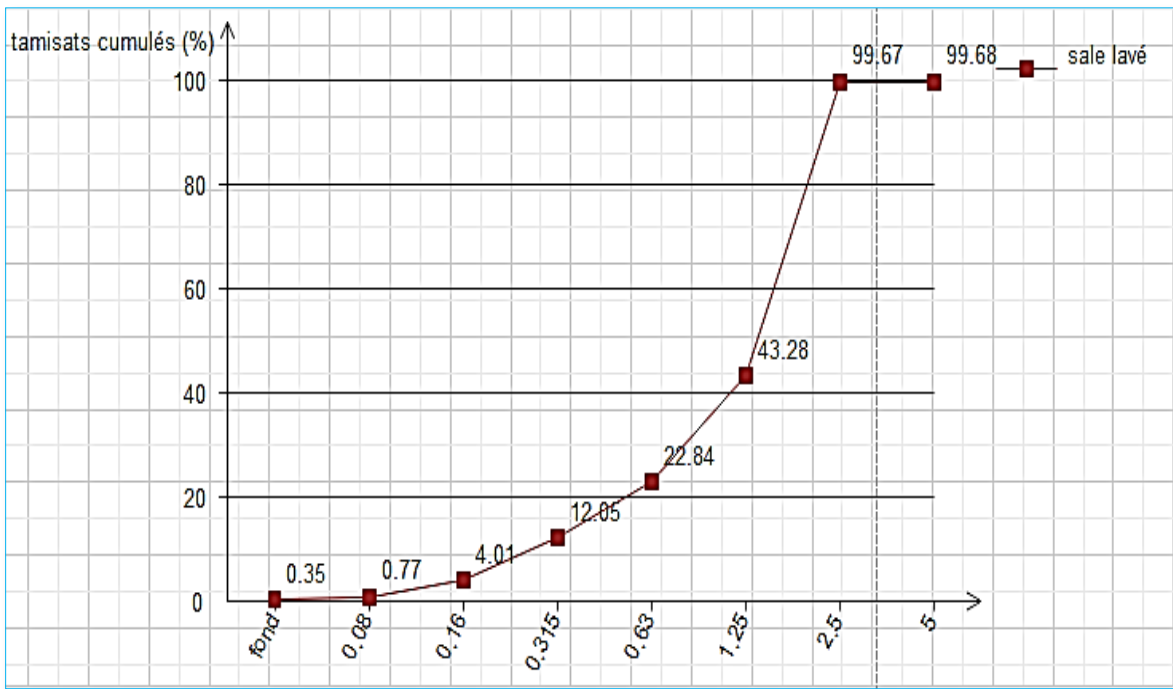


Figure III.4 : Courbe granulométrique du sable lavé 0/3.

➤ Équivalent de sable NF EN 933-8

Pour mesurer la propreté d'un sable on a eu recours à l'essai d'équivalent de sable. Le sable est incorporé dans une éprouvette normalisée et préalablement remplie de solution. L'éprouvette est ensuite placée horizontalement dans une machine à vibration automatique pendant dix minutes de vibrations. Le sable est ainsi bien humidifié et les bulles d'air sont délogés. Cet essai rend compte de la quantité des éléments fins contenus dans le sable. Par la suite, on mesure la hauteur des éléments sédimentés. Il est effectué sur la fraction du sable passant au tamis à mailles carrées de 2 mm. L'équivalent de sable (ES) est le rapport multiplié par 100 de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale de matériaux (Floculats et partie sableuse sédimentée).

$$E_s = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

Tableau III.4: Valeurs d'équivalent de sable [17].

ES à vue	ES au piston	Nature et qualité du sable
ES <65	ES <60	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65 ≤ ES <75	60 ≤ ES <70	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour béton de qualité courante et on ne craint pas particulièrement le retrait.
75 ≤ ES <85	70 ≤ ES <80	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES ≥ 85	ES ≥ 80	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses, risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

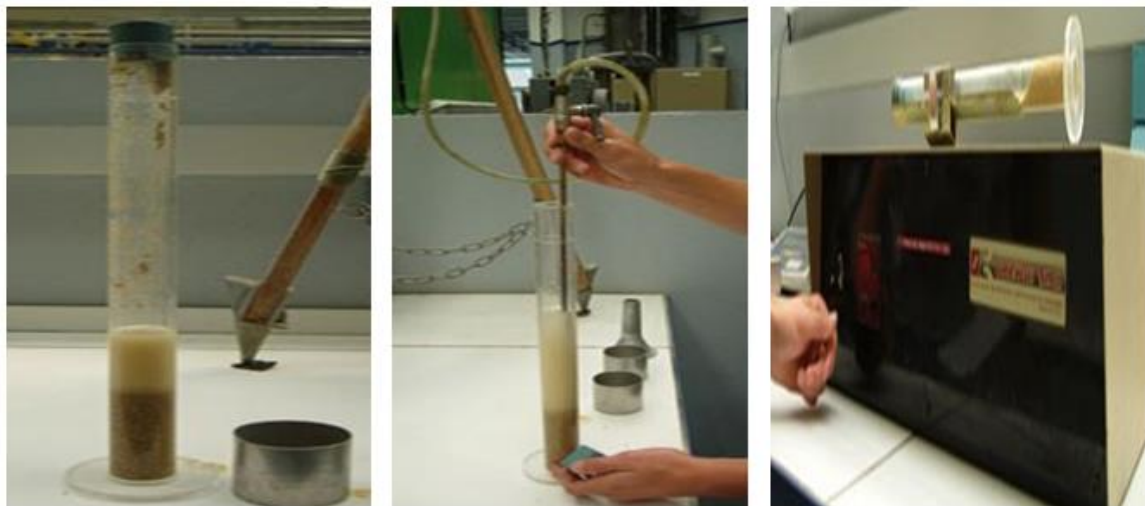


Figure III.5 : Essai d'équivalent du sable.

Tableau III.5 : Valeurs de l'équivalent de sable.

Sable lavé	Prise 1	Prise 2
H	9.5	9.6
H	8.9	9.3
ES (%)	93.7	96.87
ES (%)	95.285	
Température	20 ⁰ C	

D'après les résultats obtenus pour l'essai d'équivalent de sable il apparait que notre sable est propre puisque la valeur de cet équivalent de sable est supérieure à 85.

➤ Masse volumique apparente du sable

Pour déterminer la masse volumique apparente nous avons utilisé un récipient cylindrique de dimensions connues (diamètre=11.3cm, hauteur=15.5cm et de volume=1553.66cm³); le poids de récipient est de l'ordre de 304g, une règle à araser et une balance.

$$MV_{ap} = \frac{M}{V}$$

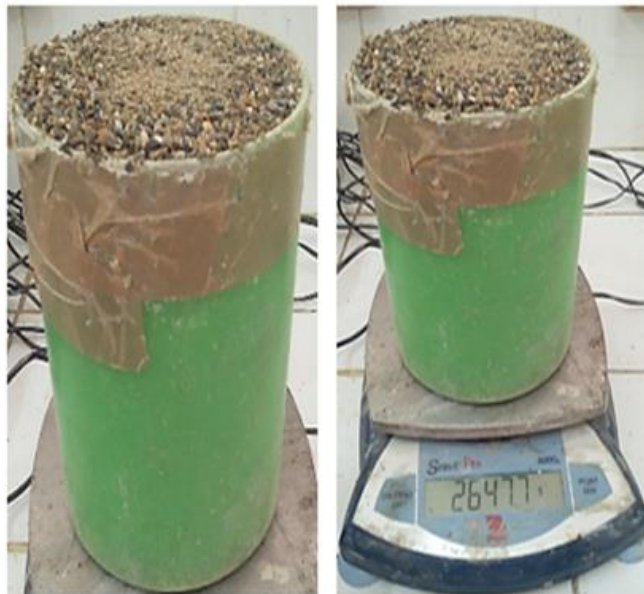


Figure III.6 : Élaboration de la masse volumique apparente.

➤ Masse volumique absolue du sable

Par définition, la masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. Elle est mesurée en remplissant une éprouvette graduée d'un volume d'eau, noté V_1 . Ensuite on introduit une masse d'environ 300g de sable, notée M_s . Après l'élimination de toutes les bulles d'air par une légère agitation, on fait une lecture visuel, en bas du ménisque, du nouveau volume, noté V_2 . La masse volumique absolue est ainsi calculée à l'aide de la formule ci-dessous:

$$MV_{abs} = \frac{M_s}{V_2 - V_1}$$

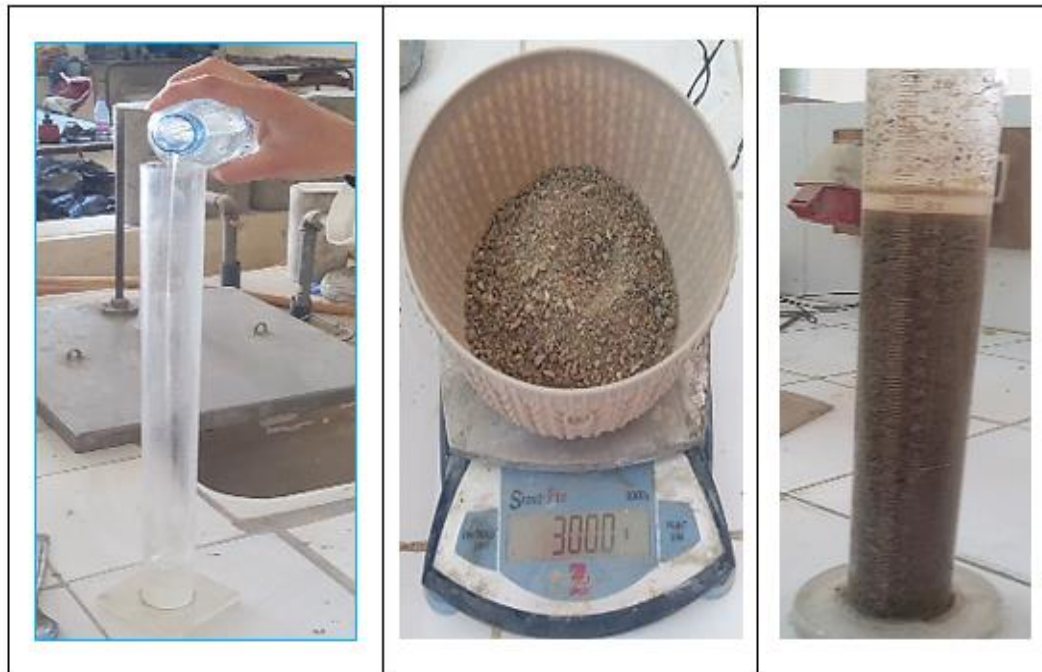


Figure III.7: Masse volumique absolue de sable.

Tableau III.6 : Masse volumique apparente et absolue.

Classe granulaire	Masse volumique Absolue	Masse volumique Apparente
0/3 sable lavé	1.42 g/cm ³	2.63 g/cm ³

III.2.3. L'eau

L'eau utilisée dans cette étude est l'eau du robinet, qui est une eau potable, donc propre.

III.2.4. Le sisal

Le Sisal désigne une fibre naturelle, issue d'une cactée subtropicale. Facile d'entretien, également résistant et esthétique. De couleur claire ou foncée, d'aspect naturel. La plante a de longues feuilles résistantes et fleurit une seule fois au cours de son cycle de vie. Après la récolte, les feuilles de sisal subissent une extraction des fibres, accompagnée d'un lavage. Après avoir séché et blanchi au soleil, les fibres subissent enfin un brossage qui les débarrasse de leurs impuretés.



Figure III.8: Fibre de sisal.

Tableau III.7: Propriété de fibre de sisal.

Largeur ou diamètre	50-300
Densité / kgm^{-3}	1450
Angle micro fibrillaire / de	10-20
Teneur en cellulose / lignine%	67/12
Module E / GNm^{-2}	9.4-22
Résistance à la traction UTS / MNm^{-2}	530-640
Élongation/%	3-7

Tableau III.8: Constituants chimiques du sisal.

Composition	Contenu/wt %
Humidité	10.0
Cellulose	65.8
Hémicellulose	12.0
Pectine	0.8
Cendre	-
Lignine	9.9
Substances solubles	1.2
Graisse et cire	0.3

III.3. Confection des spécimens d'étude

Pour les besoins des essais thermiques et au vu des dimensions imposées par la machine d'essai thermique $5 \times 8 \times 2 \text{ cm}$, nous avons confectionnés des mortiers de fibres de Sisal dont le pourcentage est de : 0.25, 0.50, 0.75, 1, 1.25, 1.5 %. L'arrêt à ce dernier pourcentage est lié, au problème des dimensions des moules à introduire dans la machine en question. De plus, la longueur des fibres choisie est de 3 et 5 cm afin d'assurer une répartition homogène des fibres dans le mortier composite produit.

Deux types de mortier sont confectionnés pour les besoins de cette étude. Les éprouvettes de référence constituées de mortier seul appelées Mortier témoin ou de référence. Une série d'éprouvettes de mortier à base de fibres de Sisal. Pour le mortier témoin, la composition: ciment, sable et eau est de 1:3:0.5 avec 450g de ciment, 1350g de sable et 225g d'eau, comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

Tableau III. 9 : Composition du mortier pour 1 m^3 .

Constituants	Masse pour 1 m^3 de mortier
Ciment (kg/m^3)	450
Sable (kg/m^3)	1350
Eau (L)	225
E/C	0.5

Le tableau ci-dessous illustre la composition pour 03 éprouvettes.

Tableau III. 10 : Quantités pour 03 éprouvettes.

	Sable(g)	ciment(g)	eau(g)	sisal(g)
MT	388.8	129.6	64.8	/
M 0.25%	387.81	129.81	64.62	0.3
M 0.5%	386.85	128.94	64.47	0.6
M 0.75%	385.86	128.61	64.29	0.9
M 1%	384.9	128.28	64.14	1.2
M 1.25%	384.94	127.98	63.96	1.5
M 1.5%	382.95	127.65	63.81	1.8

➤ **Confection des spécimens**

Dans la cuve du malaxeur, nous avons d'abord introduit la quantité d'eau nécessaire, le ciment est déversé aussitôt après, mise du malaxeur en marche à vitesse lente. Après 30 s de malaxage le sable est introduit pendant les 30s suivantes. Le malaxeur, dans cette étape est à vitesse rapide en continuant le malaxage pendant 30s supplémentaires. Au moyen d'une raclette, tout le mortier adhérant aux parois et au fond du récipient est repoussé vers le milieu du malaxeur. Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s.

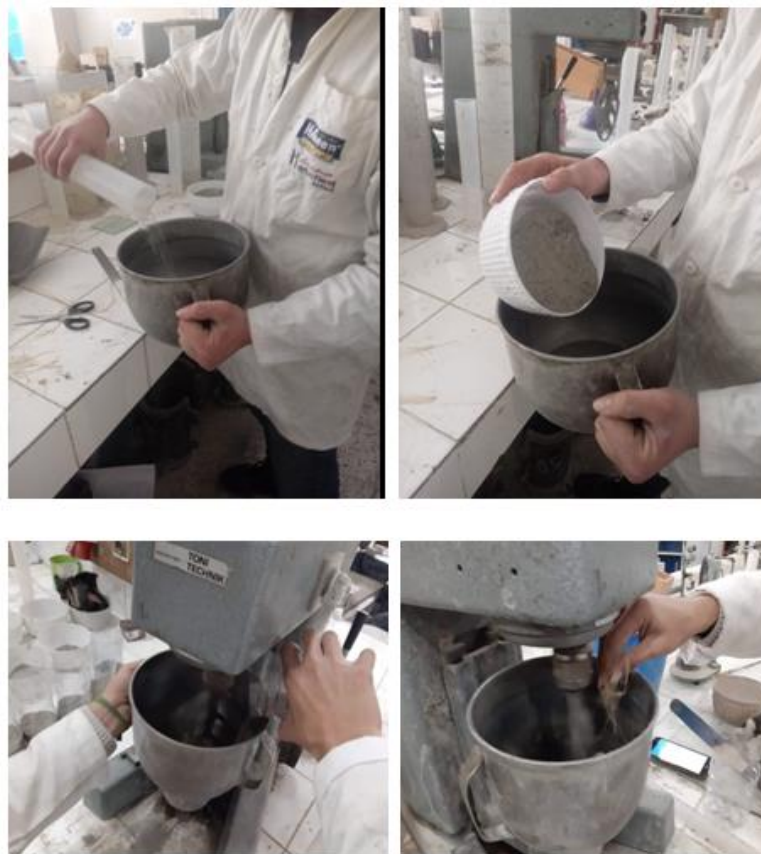


Figure III.9: Confection des éprouvettes.

Le mélange obtenu est ensuite coulé horizontalement dans des moules métalliques, fabriqués au sein du laboratoire de technologie du campus de Oued Aissi. Sur la figure ci-dessous, nous avons reproduit le coulage de ce mortier dans des moules prismatiques en acier de dimensions $5 \times 8 \times 2$ cm pendant 24h. Après démoulage, les éprouvettes de mortier sont laissées dans l'eau pour durcir jusqu'à l'échéance de l'essai.



Figure III. 10 : Coulage des éprouvettes.

Les désignations des différents mélanges de mortier sont notées dans le Tableau ci-dessous.

Tableau III. 11. Désignation des différents mortiers à base de fibres de Sisal.

Éprouvettes	Mortier Témoin	Fibre de Sisal de longueur 3 cm						Fibre de Sisal de longueur 5 cm					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Pourcentage de fibre %	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5

III.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté en détails tous les éléments de l'analyse expérimentale, en commençant par la caractérisation des différents constituants, la confection des éprouvettes, et le mode opératoire.

Les différents résultats obtenus seront présentés et illustrés dans le chapitre suivant.

Chapitre IV
Présentation des Résultats et
Discussion

IV.1. Introduction

L'isolation thermique vise à limiter les déperditions des logements. Le rôle est de préserver le confort en réduisant les échanges thermiques avec l'ambiance extérieure: si celle-ci est froide, l'isolation garde la chaleur; si celle-ci est chaude, l'isolation préserve la fraîcheur. Le pouvoir isolant d'un matériau est exprimé par sa conductivité thermique. Pour remédier les déperditions thermiques au niveau de la conception, il est primordial de choisir des méthodes de construction et des matériaux réduisant au maximum ces déperditions par les parois. En règle générale, il faut une excellente isolation thermique. Ce chapitre consiste à présenter, à analyser et à interpréter les résultats de notre étude.

Tous les essais de caractérisation et confections des différents spécimens ont été réalisés au Laboratoire de Génie-Civil à l'université Mouloud MAMMARI de Tizi Ouzou.

Tableau IV.1.: Pesées des éprouvettes en mortier à base de fibre de sisal 3cm et le mortier témoin.

Éprouvettes	Pourcentage de fibre %	Moyenne des masses (g)
C1	0.25	162.86
C2	0.5	164.4
C3	0.75	165.93
C4	1	167.56
C5	1.25	169.06
C6	1.5	171.23
MT	0	189.4

Tableau IV.2.: Pesées des éprouvettes en mortier à base de fibre de sisal 5 cm et le mortier témoin.

Éprouvettes	Pourcentage de fibre %	Moyenne des masses (g)
F1	0.25	164.12
F2	0.5	165.73
F3	0.75	167.95
F4	1	169.43
F5	1.25	171.35
F6	1.5	174.68
MT	0	189.4

L'idée de base de cette étude est d'utiliser un matériau léger, de moindre coût et surtout qui respecte l'environnement. A cet effet, comme citer précédemment, nous avons opté pour la fibre de Sisal. Une fois les éprouvettes ont atteint le murissement, celles sont pesées une par une pour estimer déjà la contribution des fibres dans la matrice mortier du point de vue légèreté. D'après les tableaux ci-dessus, représentant les masses des mortiers à base de fibres de Sisal avec plusieurs pourcentages, nous constatons que plus le pourcentage des fibres incorporées augmente, plus la masse des échantillons diminue. Certes la diminution n'est pas très prononcée du fait que le pourcentage des fibres incorporées n'est pas non plus très élevé.

IV.2. Les essais thermiques

Pour les besoins des analyses du comportement thermique de ce mortier à base de fibres végétales, nous avons d'abord assuré un bon surfacage des différentes éprouvettes vu qu'elles étaient hétérogènes et présentaient des zones granulées qui risquaient à priori de perturber nos résultats.

La planéité des surfaces a été réalisée par application, sur les faces, d'un mélange poudre de ciment mélangé avec de l'eau et araser soigneusement à l'aide d'une raclette puis laisser à l'air libre pour séchage. Les éprouvettes sont conservées au sein même du laboratoire, à une température ambiante jusqu'au jour des essais thermiques. Le but de ces essais est de sélectionner le type d'éprouvette qui présente les meilleures propriétés thermique pour être utilisée dans les panneaux d'isolation thermique.

Par définition la conductivité thermique est la quantité d'énergie traversant un mètre carré (1m^2) de matériau d'un mètre d'épaisseur et, pour une différence d'un degré de température. Elle s'exprime en $\text{W}/(\text{m.k})$. Plus la conductivité est faible plus le matériau est isolant.

IV.2.1. Dispositif d'essais

Le CT Mètre est un appareil permettant de mesurer la conductivité thermique de matériaux. Sa simplicité d'utilisation et sa taille réduite en font un accessoire portable unique, très pratique pour effectuer des mesures sur le terrain. Pour les besoins de nos essais thermiques, nous avons eu recours à l'utilisation du CT Mètre illustré sur la figure ci-dessous. Cet appareil de mesure de la conductivité thermique appartient à l'université Mira Abderhmane de Bejaia.



Figure IV.1: CT mètre

IV.2.2.Présentation des résultats

Tous les résultats obtenus sont reportés et représentés sous forme de tableaux, de courbes et d'histogrammes pour une bonne interprétation.

Tableau IV.2. Résultats des essais thermique pour les éprouvettes de mortier témoin et de mortier à base de fibre sisal de dimension 3et 5 cm

Éprouvettes	Pourcentage de fibre %	Conductivité thermique $\lambda(w/mk)$	Résistance thermique R (m^2k/w)
MT	0	1.006	0.01988
C1	0.25	1.124	0.01779
C2	0.5	1.445	0.01384
C3	0.75	1.563	0.01279
C4	1	1.616	0.01237
C5	1.25	1.591	0.01257
C6	1.5	1.638	0.01221
F1	0.25	1.548	0.01291
F2	0.5	1.568	0.01275
F3	0.75	1.557	0.01284
F4	1	1.601	0.01249
F5	1.25	1.599	0.0125
F6	1.5	1.746	0.01145

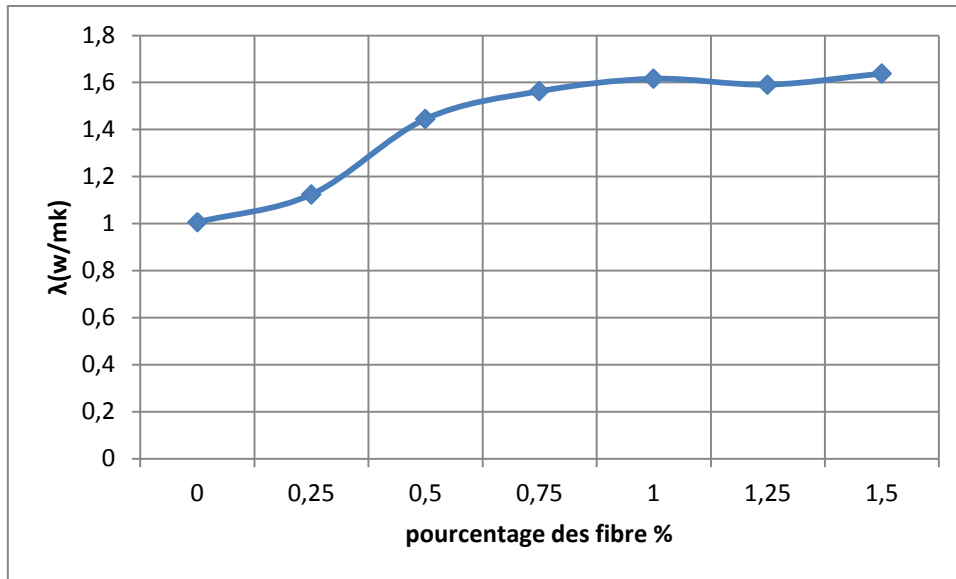


Figure IV.2. Courbe conductivité thermique en fonction de pourcentage de fibre sisal 3cm

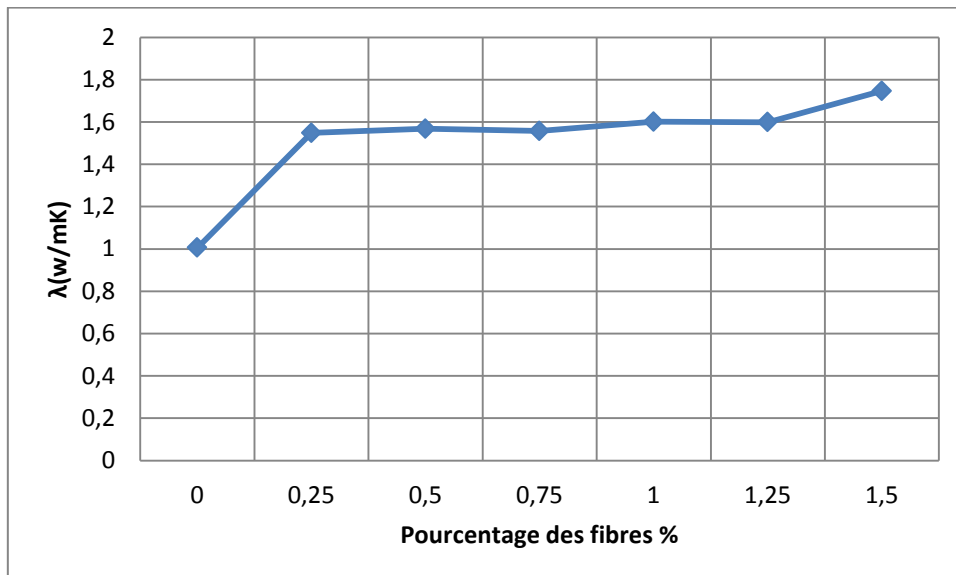


Figure IV.3. Courbe conductivité thermique en fonction de pourcentage de fibre sisal 5cm

D'après les résultats mentionnés sur le tableau IV.2 nous constatons, que l'éprouvette de mortier témoin présente une valeur de la conductivité thermique la plus petite par rapport aux autres mortiers fibrés. Il est précisé que plus la conductivité thermique est élevée, plus le matériau est conducteur de chaleur. Plus elle est faible, plus le produit est isolant. Ce coefficient n'est valable que pour les matériaux homogènes. Dans notre cas, vu que le pourcentage des fibres incorporé est faible ceci provoque des valeurs de la conductivité thermique supérieure à celle du mortier témoin. La répartition des fibres dans le mortier reste

insuffisante au vu de cette quantité faible. Ce pourcentage des fibres est imposé de lui-même car les dimensions des éprouvettes (5× 8× 2 cm) sont très petites. Du point de vue réalisation un pourcentage supérieur à 1.5% ne pourrait être réalisé (Voir figure III.10). La machine d'essai impose une dimension petite ce qui rend l'incorporation des fibres de longueur de 3 cm et 5 cm très difficile. La porosité est plus forte pour le mortier témoin que les autres variantes, plus un matériau est plus sa conductivité est faible donc bon isolant. Il est nécessaire d'augmenter le dosage en fibres pour prétendre à une meilleure isolation comparativement à celle du mortier témoin.

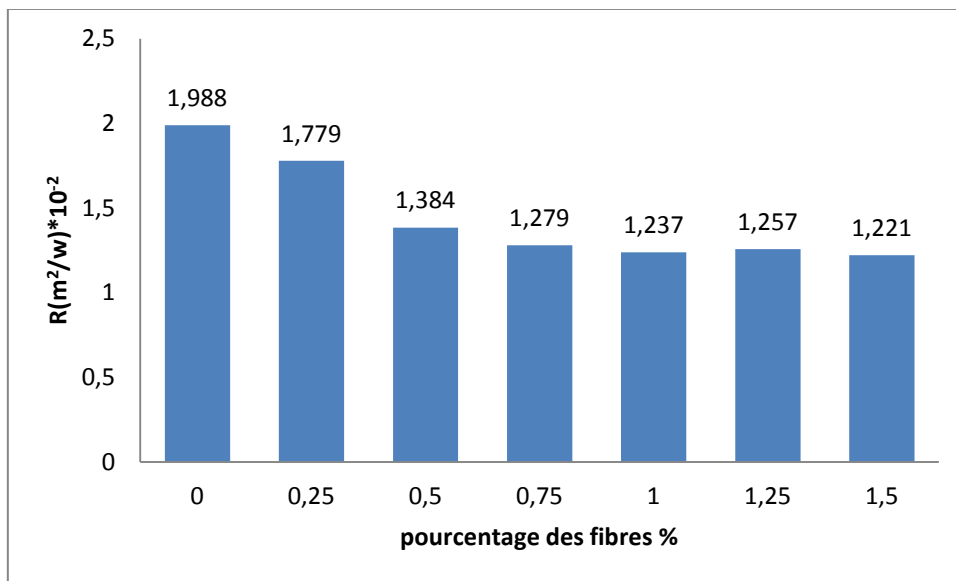


Figure IV.4. Histogramme des résistances thermiques en fonction de pourcentage de fibre sisal 3cm

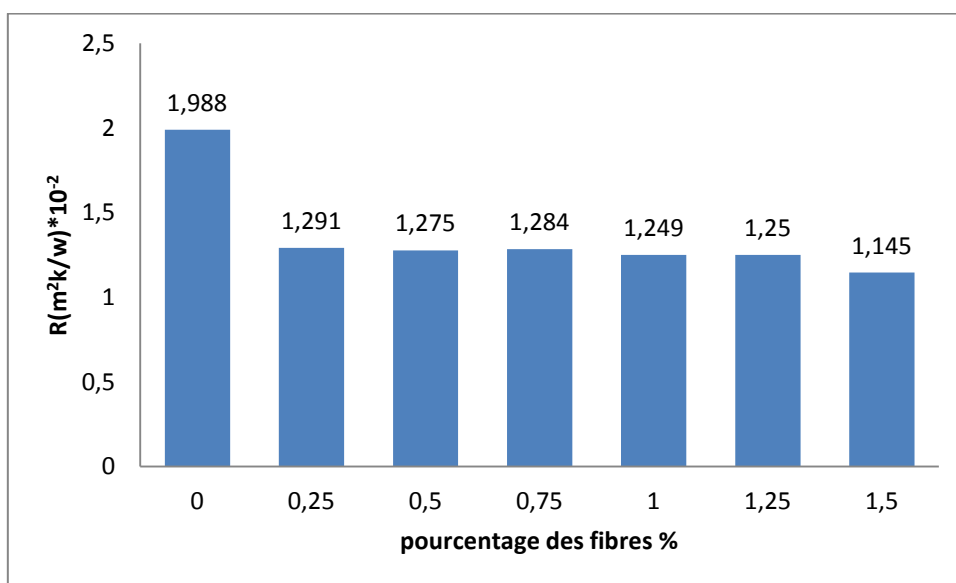


Figure IV.5. Histogramme des résistances thermiques en fonction de pourcentage de fibre sisal 5cm

Le calcul de la résistance thermique a été fait dans le but de connaître la capacité de chaque spécimen à freiner le transfert de chaleur. Par définition, la résistance thermique caractérise l'aptitude d'un matériau à ralentir le transfert de chaleur, elle s'exprime en $m^2.k/W$, on travaille par un mètre carré de surface et elle a été calculée par la formule suivante:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Les recherches antérieures confirment bien l'hypothèse que plus un matériau est dense et plus sa résistance thermique diminue. Il est clair que le facteur déterminant dans cette décroissance c'est la porosité du matériau. D'après les figures ci-dessus, nous avons remarqué que pour le mortier témoin (de référence) affiche une valeur de la résistance thermique la plus grande comparativement aux autres variantes d'étude. Du fait du faible pourcentage des fibres la résistance thermique se trouve affectée dans le cas des mortiers à base de fibres (Dimension des moules pour la mesure thermique sont trop faible). Il est démontré dans la littérature, suivant aux essais effectués par plusieurs chercheurs que plus la résistance thermique est élevée plus le matériau est isolant.

Les résultats de ces essais thermique confirment que le pourcentage des fibres à incorporé dans la matrice mortier doit être plus significatif pour espérer une isolation thermique du composite obtenu.

IV.3. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté tous les éléments de l'analyse expérimentale « thermique » ainsi que l'interprétation des différents résultats obtenus qui sont présentés et illustrés sous forme de tableaux, graphes et histogrammes.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion générale

Les fibres naturelles ont été utilisées depuis bien longtemps, pour renforcer des matériaux très divers: terre, plâtre, brique..., mais l'association avec le ciment, le mortier ou le béton est un procédé relativement récent. Le brevet sur l'amiante ciment date de 1902, les premiers emplois de fibres d'acier interviennent en 1923. Les fibres de verre, bien que connues depuis le début du siècle, n'ont fait l'objet d'essais d'incorporation au béton qu'à partir de 1950.

Aujourd'hui, le renforcement du mortier ou du béton par des fibres constitue une voie nouvelle dans le domaine des matériaux composites, dont les applications sont très variées. Les composites « ciments fibres » et « béton fibres » sont une avancée technologique importante dans de nombreux domaines du bâtiment et des travaux publics: panneaux minces, panneaux décoratifs, encadrements, dallages, voûtes de galeries, isolation, réparation...

L'utilisation des matériaux naturels tels que les fibres végétales dans la construction n'est pas nouvelle en soit. Ces matériaux présentent des performances thermique, acoustique, qui permettent une conception moderne à faible coût. Ces matériaux sont disponibles, à faible coût, renouvelable et recyclable.

Les spécimens composites développés dans le cadre de cette étude restent insuffisant pour prétendre à l'usage assigné au départ c'est-à-dire le rôle d'isolations thermiques. Il est démontré que ces composites présentent à la fois un coût de production loin d'être onéreux et une empreinte écologique conséquente et très favorables. L'idée est de proposer un matériau appartenant aux nouveaux matériaux innovants qui répondent aux critères des exigences environnementales.

En effet, cette étude consiste à confectionner des éprouvettes en mortier allégée par des fibres végétales. Ces corps d'épreuve ont été testés pour déterminer leur apport concernant l'amélioration de l'isolation thermique. Les spécimens développés restent insuffisants pour prétendre à l'usage assigné au départ c'est-à-dire le rôle d'isolations thermiques. Il est démontré que ces composites présentent à la fois un coût de production loin d'être onéreux et une empreinte écologique conséquente et très favorables.

Conclusion Générale

Les résultats expérimentaux ont permis toute fois de confirmer une très bonne adhérence la fibre de Sisal et le mortier, une réduction de la masse par rapport au mortier classique.

En perspective, il serait intéressant de:

- Utiliser un autre type de fibres
- Définir des pourcentages de fibres conséquents
- Faire varier les dimensions des fibres,....

Introduction générale

[1] M. Malha, «*Mise en oeuvre, Caractérisation et Modélisation de Matériaux Composites : Polymère Thermoplastique Renforcé par Des Fibres De Doum.*». Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences Rabat, Université Mohammed V, Agdal, 2013, 151 p.

http://toubkal.imist.ma/bitstream/handle/123456789/9626/THESE_MALHA.pdf

[2] Y. Xu, Q. Wu, Y. Lei et F. Yao. " *Creep behavior of Bagasse fiber reinforced polymer composites*", Bioresource Technology. Vol. 101, 2010, pp. 3280–3286.

[3] Y. Xie et al. « *Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: A review* ». Composites Part A: Applied Science and Manufacturing., Vol. 41, 2010, pp. 806– 819

Chapitre I : Le mortier dans tous ses états

[1] WILLIAM.D, CALLISTER.JR « Science et génie des matériaux » modulu Editeur, 2001.

[2] R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN «Granulat, sols, ciment et béton»
Edition CASTEILLA-PARIS-2004.

[3] GCI712 « Durabilité et réparation du béton », département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril 2009.

[4] www.infociments.fr › CT-B51.19-20.

[5] www.infociments.fr › CT-G11

[6] <https://www.dunod.com> ›maçonnerie

[7] Arezki Tagni Hamou « Microstructure et physico-chimie des ciments et des bétons».

[8] SYLVER.P «science des matériaux», université pierre et marie curie 2006.

[9] Zile-Marie Durosier Richard Bonneville, « Le Ciment - Les Mortiers Et Les Bétons »,
<http://www.interaide.org/pratiques/>

[10]BOUALI, KHALED,THESE DE DOCTORAT « Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers a base d'ajouts de déchets de briques réfractaires». (2015), 108 PAGES.

[11] DJEMAA Nabila, Mémoire de Master, « Elaboration et caractérisation d'un mortier léger par introduction de billes de polystyrène » (2018).

Chapitre II Généralités sur les fibres Végétales

- [1] 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.
- [2] F. Laurans, A. Déjardin, J. Pilate, "Physiologie de la formation des parois de fibres de bois", composites et matériaux avancés, Vol.16, pp.27-39, 2006.
- [3] N. Anil "composite get greener", Material today, Vol 45, pp12, 2001.
- [4] E. BODROS, C. BALEY, "Étude des propriétés de biopolymère renforcés par des fibres de lin aléatoirement dispersées dans le plan de stratification", propriété aux interfaces et composites, Université de Bretagne-Sud, 2006
- [5] F. Gouanvé, S. Marais, M. Métayer, « composites polyester insaturé renforcés par des fibres de lin », composites et matériaux avancées, Vol.16, pp.117.128, 2006
- [6] M. Nardin, « Interface fibre-matrice dans les matériaux composites application aux fibres végétales », revue des composites et des matériaux avancés, Vol 16, pp 49-61, 2006.
- [7] F. Michaud, "Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage" thèse Phd, univ Laval, 2003.
- [8] K. Charle, C. Morvan, J. Bréard, J.P. Jernot, M. Gomina, "Etude morphologique d'un composite naturel la fibre de lin" revue des composites et des matériaux avancées, Vol 16, pp11-24, 2006.
- [9] C. Ververis, K. Georghiou, N. Christodoulakis, P. Santas, R. Santas. "Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production". Industrial Crops and Products 19: 245–254, 2004.
- [10] A.K. Bledzki, J. Gassan, "Composites reinforced with cellulose based fibres", Prog. Polym. Sci. 24 221–274, 1999
- [11] C. Couhert. « Pyrolyse flash à haute température de la biomasse ligno-cellulosique et de ses composés - production de gaz de synthèse », Thèse de pour obtenir le de Doctorat de l'École des Mines de Paris Énergétique. 2007.
- [12] D. Sedan, "Étude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composites", thèse doctorat de l'université de Limoges, matériaux céramiques et traitement de surface, 2007.
- [13] S. Berlioze, "Étude de l'estérification de la cellulose par une synthèse sans solvant. Application aux matériaux nano composites", thèse doctorat de l'université JOSEPH FOURIER, Sciences des Polymères, 2008.

Référence bibliographiques

- [14] N.Joly, "synthèse et caractérisation de nouveaux films plastiques obtenues par acylation et réticulation de la cellulose", thèse doctorat de l'université de Limoges, chimie des substances Naturelles, 2003.
- [15] C.Satge, "Étude de nouvelles stratégies de valorisation de mono et polysaccharides", thèse doctorat de l'université de Limoges, chimie des substances naturelles, 2002.
- [16] D. Hatsch, "Interaction hôte/pathogène : étude du modèle *Cumulus lupulus Fusarium graminearum*. Identification, génomique et transcriptomique du pathogène," thèse de doctorat de l'université de Louis Pasteur Strasbourg I, Sciences du Vivant – Aspects moléculaires et cellulaires de la biologie.2004.
- [17] B.Montiès, "Les polymères végétaux - Polymères pariétaux et alimentaires non azotés, Gauthier Villars (ed), Paris (1980).
- [18] B.R. Sharma, Naresh L., N.C. Dhuldhoya, S.U. Merchant and U.C. Merchant Lucid "Colloids Limited Jodhpur"-342005, Rajasthan, India,2006.
- [19] S. Thiebaud, "Valorisation chimique de composés lignocellulosiques : obtention de nouveaux matériaux", thèse de doctorat, Institut National Polytechnique De Toulouse, Sciences des Agroressources, 1995.
- [20] P. Boustingorry, "Élaboration d'un matériau composite à matrice gypse renforcé par bois fragmenté -amélioration de la résistance au vissage de produits préfabriqué en gypse," thèse de doctorat de l'école Nationale Supérieure des Mine de Saint Etienne, Génie des procédés, 2002.
- [21] R.M. Rowell' Composite Materials from Agricultural Resources" Olsen, Ole; Rexen, Finn; Larsen, Jorgen, eds. Research in industrial application of non food crops, I: plant fibers: Proceedings of a seminar; 1995 May; Copenhagen, Denmark.Linkboy, Denmark Academy of Technical Science: 27-41.
- [22] Mustapha Malha, « Mise en œuvre, caractérisation et modélisation de matériaux composites : polymère thermoplastique renforcé par des fibres de Doum », Université Mohammed V –AGDAL, Mars 2013.
- [23] J.Gordon Cook, Handbook of textile fiber Vol.1: Natural fibers. Cambridge, England: W publishing limited, 1959, vol. Vol 1.
- [24] C.GroveR.Casey, "Fibers," Journal of industrial & engineering chemistry, vol. 39, no. 10, pp. 1213-1215, October 1947.
- [25] Sherey Annie Paul et al., "Effect of fiber loading and chemical treatments on thermophysical properties of banana fiber/polypropylene commingled composite materials," Composite part A: Applied science and manufacturing, vol. 39, no. 8, pp. 1582-1588, 2008.
- [26] Service de la santé et de la sécurité du travail-service du répertoire toxicologique, Amiante. Canada, 2004.
- [27] Collectif, Autour du fil, l'encyclopédie des arts textiles, Ed.Fogtdal, Ed. Paris, 1990, vol. 10.

Référence bibliographiques

- [28] A.Michud et B.Giustini, "Les fibres cellulosique à usage textile," Cellule de veille technologique de Grenoble INP-Pagora et l'école internationale du papier, de la communication imprimée et des biomatériaux, 2009.
- [29] J.M.Michel, "Contribution à l'histoire industrielle des polymères en France," Société chimique de France, Avril 2012.
- [30] W.Killmann et L.T.Hong, « Le bois d'hévéa- succès d'un sous-produit agricole », Archive de la FAO, 2000, vol. 51.
- [31] J.Clavel, Les principales fibres chimiques: généralité, constitution chimique, classification, propriétés techniques essentielles: méthode rapide de différentiation: exemples appliqués à la pratique courante: Ed. Société chimique Elbeuvienne "SYNTORGA", 1956.
- [32]Negoudi Abdelhakim KhinechSayah, Mémoire Master, « Étude de comportement mécanique des composites biosourcés », université de Ouargla, Algérie,
- [33]Yosr BEN MLIK, Thèse Doctorat, « Valorisation des fibres de kénaf dans des applications textiles et para textiles »,École Nationale d'Ingénieurs de Monastir, 2018.