



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE «Abbès LAGHROUR» DE KHENCHELA  
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE



Département de Génie Civil

N° de série :.....

## Mémoire de fin d'études

*Pour l'obtention du diplôme de Master (L.M.D)*

**Spécialité : Génie civil**

**Option : Structures**

Caractérisation d'un mortier de ciment  
renforcé par de fibres végétales  
(le Diss)

*Réalisé par :* - ARIF Bahia  
- AZIZI Halima

*Membres de jury :*

M. MESSAS Tidjani      *Président*  
M. LEKOUARA Laid      *Examineur*

*Dirigé Par :*

M. TOUAM Lakhemissi (MCB)

*Présenté le : 27/06/2022*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## ***Remerciements***

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.*

*En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr : **Lekhmissi Touam** pour ses précieux conseils, son aide et son soutien qu'il nous a apporté au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*Nos remerciements vont également aux membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer ce travail et de participer à la soutenance.*

*Enfin, nous sommes reconnaissants envers tous les enseignants de notre Département Génie Civil de l'Université Abbès Laghrour –Khenchela, pour leur contribution à notre formation, et aussi à nos camarades, de notre promotion.*

*Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de notre département de génie civil et par la même occasion un grand merci au responsable du laboratoire pour son aide.*

*En fin, nous remercions chaleureusement nos familles pour leurs sacrifices et leurs soutiens tout au long de notre parcours.*

*Merci à tous*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail :*

*Aux êtres les plus chers à mon cœur, mes parents ;*

*A toute la famille Arif ;*

*A mon frère et ma sœur qui étaient favorables à moi en tout temps ;*

*A notre encadreur Mr: Touam Lekhmissi ;*

*A mes enseignants ;*

*A tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail qu'ils  
trouvent ici l'expression de ma haute considération ;*

*A ma chère binôme «Halima et à toute sa famille»*

*A mes camarades de ma promotion.*

*.... Bahia Arif*



## *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire :*

*Au défunt de mon monde reste dans mon cœur, une source de ma fierté et de mon honneur, Alhamdulillah, j'ai réalisé ce que je souhaitais,*

*Mon cher père (**Rachid**) que dieu lui fasse miséricorde ;*

*A celui qui a récolté les épines de mon chemin pour me paver le chemin de la connaissance elle a donné sa vie en sacrifice au cours de mon éducation, sans votre présence dans ma vie et vos encouragements, je n'aurais pas réussi*

*Ma chère maman (**Louassaa**) que dieu te bénisse ;*

*A mes frères: Mohammed. Saleh. Adel. Hafid. Walid ;*

*Aux fleurs de la maison :*

*Haithem, Bara, Jad, Seifdine , Rachid, Houssine, Djaber, Amina, Anfal, Areej, Najwana ;*

*A mes amies : Bahia, Lemya, Nouha, Fadia, Lidya, Nihad ;*

*A toute la famille AZIZI ;*

*Sans oublier tout les professeurs que ce soit du*

*Primaire, du moyen, du secondaire ou de*

*L'enseignement supérieur.*

*... Halima Azizi*



## Résumé

Les fibres végétales promettent un bel avenir dans les années à venir comme renfort pour les matériaux cimentaires. Le travail présenté dans ce mémoire a pour principal objectif la contribution à la valorisation de la plante Diss, qui est abondante en Algérie, et de l'introduire dans le domaine de la construction de manière bien étudiée. Pour ce faire, nous avons mené des essais physiques et mécaniques sur des éprouvettes de différents types de mortiers renforcés de fibres de Diss de dimensions (4 x 4 x 4) cm pour la compression et (4 x 4 x 16) cm pour la flexion trois points préparés au laboratoire selon les différentes combinaisons des fibres de Diss et dont ceux considérés comme témoins sans fibres pour une étude comparative.

Les résultats obtenus par cette recherche montrent que les mortiers renforcés de fibres végétales (Diss) présentent pour certains teneurs une meilleure performance mécanique (résistance à la flexion et à la compression). Notre travail nous a permis de conclure que les fibres de Diss sont une ressource locale, plus adaptées à la réalisation d'un mortier comme matériau innovant, peu coûteux et plus respectueux de l'environnement.

**Mots Clés** : Fibres végétales, matériaux cimentaires, mortier, résistance à la flexion, résistance à la compression, fibres Diss, respectueux de l'environnement.

هذه	الأسمنتية. الهدف	كتعزيز	الألياف النباتية
بطريقة	وإدخال أليافه	تثمين نبات الديس (Diss)	يتمثل المساهمة
(4×4××4)	عينات	فيزيائية و ميكانيكية	جيداً ولتحقيق
		بألياف (Diss)	(16 × 4 × 4)
	كشواهد بدون ألياف		كمياتها )
ميكانيكي	بألياف نبات الديس له	هذا	وقد أظهرت
	ألياف الديس (Diss) هي	عليها	( )
		للبيئة.	وغير

### المفتاحية :

ألياف نباتية إسمنتية ، ملاط ليفي، ، ألياف الديس، صديق البيئة.

## *Abstract*

Plant fibers promise a bright future in the years to come as a reinforcement for cementitious materials. The main objective of the work presented in this dissertation is to contribute to the valorization of the Diss plant, which is abundant in Algeria, and to introduce it into the field of construction in a well-studied way. To do this, we conducted tests on different types of mortars reinforced with Diss fibers in the shape (4 x 4 x 4) cm for compression and (4 x 4 x 16) cm for bending prepared in the laboratory according to the different combinations of Diss fibers and including those considered as controls without fibers for a comparative analysis.

The results obtained by this research show that mortars reinforced with vegetable fibers (Diss) have better mechanical performance (resistance to bending and compression). Our work has allowed us to conclude that Diss fibers are a local resource, more suitable for the production of a mortar as an innovative, inexpensive and more environmentally friendly material

**Keywords:** Plant fibers, cementitious materials, mortar, resistance to bending, compression, Diss fibers environmentally friendly.

## Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Résumé.....	IV
.....	V
Abstract.....	IX
Liste des tableaux.....	XI
Liste des figures.....	XIII
Liste des abréviations.....	XIV
Introduction générale.....	1

### **Chapitre I : Étude bibliographique**

<b>I.1. Introduction.....</b>	<b>5</b>
<b>I. 2.Matériaux composite.....</b>	<b>5</b>
I. 2.1. Définition d'un matériau composite.....	5
I. 2.2. Classification des matériaux composites.....	6
I. 2. 2.1. Classification selon la nature des constituants.....	6
I. 2. 2.1.1. Les composites à matrice organique (CMO).....	7
I. 2. 2.1.2. Les composites à matrice céramique (CMC).....	9
I. 2. 2.1.3 .Les composites à matrice métallique (CMM).....	9
I. 2. 2.2. Classification selon la forme des constituants.....	9
I. 2.3. Matériaux composites à base de fibres naturelles.....	10
I. 2.3.1 .Matrice polymère et fibres végétales .....	10
I. 2.3.2 .Matrice minérale et fibres végétales .....	11
I. 2.3.3 .Avantages et inconvénients des fibres végétales comme renfort de matériaux composites.....	12
I. 2.4. Avantages et inconvénients des composites.....	13
I. 2.5. Conclusion.....	13
<b>I. 3. Fibres végétales.....</b>	<b>14</b>
I. 3.1. Définition de la fibre végétale.....	14
I. 3.2. Classification des fibres végétales.....	14

I. 3.2. 1. Les Fibres de Feuilles.....	14
I. 3.2. 2. Les Fibres de Tiges.....	14
I. 3.2. 3. Les Fibres de Bois.....	15
I. 3.2.4. Les Fibres de Surface.....	15
I. 3.3. Morphologie des fibres végétales.....	15
I. 3.4. Principaux constituants chimiques des fibres végétales.....	17
I. 3.4.1 .La cellulose.....	17
I. 3.4.2 .Les hémicelluloses .....	18
I. 3.4.3 .Les lignines.....	18
I. 3.4.4 .Les pectines.....	19
I. 3.4.5 .Les cires.....	19
I. 3.5. Méthodes d'extraction des fibres végétales.....	19
I. 3.5.1 .Rouissage biologique .....	20
I. 3.5.2 .Rouissage chimique .....	20
I. 3.5.3 .Rouissage mécanique.....	21
I. 3.6. Conclusion .....	22
<b>I.4. Matrice cimentaire.....</b>	<b>23</b>
I.4.1. Définitions d'un ciment.....	23
I.4.2. Les grandes familles de ciment.....	23
I.4.2.1. Les ciments Portland.....	24
I.4.2.2. Les ciments alumineux.....	27
I.4.3. Fabrication du ciment .....	28
I. 4.3.1 .Fabrication du ciment portland.....	28
I. 4.3.2 .Fabrication du ciment alumineux.....	29
I.4.4. Conclusion.....	31
<b>I.5. Les Mortiers.....</b>	<b>32</b>
I.5.1. Définition.....	32
I.5.2. Composants du mortier.....	32
I.5.2.1. Le Liant.....	32
I.5.2.2. Le sable.....	33

I.5.2.3. L'eau.....	33
I.5.3. Caractéristiques et propriétés des mortiers.....	34
I.5.3. Différents types de mortiers.....	35
I.5.3.1. Les différents mortiers en fonction de liant.....	35
I.5.3.2 .Les différents mortiers en fonction de l'usage.....	37
I.5.3.3.Types de mortiers en fonction de dosage de liant.....	37
I.5.4. Préparation des mortiers.....	38
I.5.4.1 .Préparation à la main.....	38
I.5.4.2 .Préparation mécanique .....	39
I.5.5. Rôle essentiel du mortier.....	39
I.5.6. Conclusion.....	40
<b>Conclusion du chapitre I</b> .....	<b>41</b>

## **CHAPITRE II : Matériaux et méthodes**

<b>II.1. Introduction</b> .....	<b>43</b>
<b>II.2. Matériaux utilisés</b> .....	<b>43</b>
II.2.1. Fibre de Diss.....	43
II.2.2. Ciment.....	45
II.2.3. Sable.....	46
II.2.4. Eau de gâchage.....	51
<b>II.3. Méthodes expérimentales</b> .....	<b>52</b>
II.3.1. Préparation des fibres de Diss.....	52
II.3.1.1.Sélection des fibres.....	52
II.3.1.2 .Découpage des fibres.....	52
II.3.1.3 .Lavage et séchage des fibres de Diss.....	53
II.3.1.4. Traitement des fibres avec de l'hydroxyde de sodium (NaOH).....	53
II.3.2.Préparation des éprouvettes.....	56
II.3.2.1.Eprouvette à base d'un mortier témoin (sans fibre).....	56
II.3.2.2 .Eprouvette à base d'un mortier avec fibres de Diss non traitées.....	56
II.3.3.3.Eprouvette à base d'un mortier avec fibres de Diss traitées par (NaOH).....	56

II.3.3. Mode de conservation des éprouvettes.....	58
II.3.4. Essais mécaniques sur éprouvettes de mortier .....	58
II.3.4.1. Essai de flexion.....	58
II.3.4.2. Essai de compression.....	59
<b>II.4 Conclusion.....</b>	<b>60</b>

### **CHAPITRE III : Résultats et discussions**

<b>III.1. Introduction.....</b>	<b>62</b>
<b>III.2. Description des essais réalisés au laboratoire.....</b>	<b>62</b>
III.2.1. Analyse granulométrique.....	62
III.2.2. Essai d'Equivalent de sable.....	65
III.2.2.1 .Principe de l'essai.....	65
III.2.2.2. Calcul et interprétation des résultats.....	66
III.2.3. Caractérisation physique.....	67
III.2.3.1. Effet de la teneur en fibres sur masse volumique.....	67
III.2.4. Caractérisation mécanique.....	68
III.2.4.1. Essai de Compression.....	68
III.2.4.1.1 .Effet de la teneur en fibres de Diss.....	68
III.2.4.1.2. Effet de la longueur des fibres.....	71
III.2.4.2. Essai de flexion trois points.....	73
III.2.4.2.1. Effet de la teneur en fibres.....	73
III.2.4.2.2. Effet de la longueur des fibres.....	76
III.2.4.2.3 .Effet du traitement.....	80
<b>III.3. Conclusion.....</b>	<b>80</b>
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE.....</b>	<b>82</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>85</b>

## Liste des tableaux

<b><u>Chapitre – I</u></b>	
Tableau N°1: Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux composites.....	<b>12</b>
Tableau N°2 : Teneur en cellulose de quelques espèces végétales.....	<b>18</b>
Tableau N°3 : Composition et phases du clinker.....	<b>24</b>
<b><u>Chapitre – II</u></b>	
Tableau N° 1 : Caractéristiques Techniques du ciment de type Portland - cimenterie de Biskra.....	<b>45</b>
Tableau N° 2 : Les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable...	<b>49</b>
Tableau N° 3 : Caractéristiques physico-chimiques et organiques de l'eau de gâchage...	<b>51</b>
Tableau N° 4 : Tableau récapitulatif illustrant la confection des éprouvettes.....	<b>57</b>
<b><u>Chapitre – III</u></b>	
Tableau N° 1 : Analyse granulométrique de sable.....	<b>63</b>
Tableau N° 2 : classement de sable.....	<b>64</b>
Tableau N° 3 : Les masses volumique des différentes formulations en fonction de la teneur en fibres de Diss de longueur 1cm .....	<b>67</b>
Tableau N° 4 : Résistance en compression des différentes formulations pour une longueur des fibres d 1 cm.....	<b>68</b>
Tableau N° 5 : Résistance en compression des différentes formulations pour une longueur des fibres de 2 cm.....	<b>68</b>
Tableau N° 6 : Résistance en compression des différentes formulations pour une longueur des fibres de 3cm.....	<b>69</b>
Tableau N° 7 : Résistance en compression des différentes formulations pour une teneur en fibres de Diss de 1%.....	<b>71</b>
Tableau N° 8 : Résistance en compression des différentes formulations pour une teneur en fibres de Diss de 2% .....	<b>71</b>
Tableau N° 9 : Résistance en compression des différentes formulations pour une teneur en fibres de Diss de 3%.....	<b>71</b>
Tableau N° 10 : Résistance en flexion des différentes formulations pour une longueur des fibres de 1 cm.....	<b>73</b>

Tableau N° 11 : Résistance en flexion des différentes formulations pour une longueur de fibres de 2 cm.....	<b>74</b>
Tableau N° 12 : Résistance en flexion des différentes formulations pour une longueur des fibres de 3 cm.....	<b>74</b>
Tableau N° 13 : Résistance en flexion des différentes formulations pour une teneur en fibres de Diss de 1%.....	<b>76</b>
Tableau N° 14 : Résistance en compression des différentes formulations pour une teneur en fibres de Diss de 2%.....	<b>77</b>
Tableau N° 15 : Résistance en compression des différentes formulations pour une teneur en fibres de Diss de 3%.....	<b>77</b>

## Liste des figures

<b><u>Chapitre – I</u></b>	
Figure I.1: Matériau composite.....	<b>5</b>
Figure I.2 : Thermoplastiques .....	<b>8</b>
Figure I.3 : Classification schématique des différents types de composites.....	<b>10</b>
Figure I.4 : Gros plan sur une fibre d’abaca.....	<b>14</b>
Figure I.5 : Schéma de principe de la structure d’une fibre végétale.....	<b>16</b>
Figure I.6 : Schéma de la microstructure d’une fibre végétale.....	<b>16</b>
Figure I.7 : Représentation schématique des différents procédés d'extraction des fibres végétales.....	<b>21</b>
Figure I.8:Diagramme de phase ternaire CaO-SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , et repérage des compositions de ciment Portland et de ciment alumineux.....	<b>23</b>
Figure I.9: Représentation simplifiée de l’hydratation des grains de ciment.....	<b>26</b>
Figure I.10 : Courbe typique de calorimétrie isotherme d’un ciment.....	<b>26</b>
Figure I.11 : Aluminates de calcium.....	<b>27</b>
Figure I.12 : La cuisson du cru et cheminement dans le four.....	<b>29</b>
Figure I.13 : Mortier (sable + ciment +eau).....	<b>32</b>
Figure I.14 : Types de mortiers en fonction de liant.....	<b>36</b>
Figure I.15 : Préparation manuelle du mortier.....	<b>38</b>
Figure I.16 : Préparation mécanique du mortier.....	<b>39</b>
<b><u>Chapitre – II</u></b>	
Figure II.1 : Plante de Diss à l’état naturel (inflorescence en grappes).....	<b>44</b>
Figure II.2 : Gisement de fibres végétales (Diss) en Algérie.....	<b>44</b>
Figure II.3 : Sac de Ciment Portland (CEM II, 42.5 R) de la cimenterie de Biskra.....	<b>46</b>
Figure II.4 : Sable de carrière prêt à l'emploi.....	<b>47</b>
Figure II.5 : Série de tamis pour l’analyse granulométrique d’un sable.....	<b>48</b>
Figure II.6 : L’essai d’équivalent de sable.....	<b>50</b>
Figure II.7 : Agitateur électrique pour équivalent de sable.....	<b>50</b>
Figure II.8 : Fibres de Diss (a) brutes et (b) sélectionnées.....	<b>52</b>
Figure II.9 : Fibres de Diss brutes découpées (1cm, 2cm et 3cm de longueur).....	<b>52</b>
Figure II.10 : Différents matériaux de traitement (fibres brutes de Diss découpées 1cm	<b>53</b>

2cm et 3cm, tube d'eau distillée et flacon de l'hydroxyde de sodium).....	
Figure <b>II.11</b> : Traitement des fibres de Diss avec (NaOH).....	<b>54</b>
Figure <b>II.12</b> : fibres de diss découpées (1cm ,2cm et 3cm) immergées dans la solution (NaOH).....	<b>54</b>
Figure <b>II.13</b> : Lavage et séchage des fibres de Diss traitées par (NaOH).....	<b>55</b>
Figure <b>II.14</b> : conservation des éprouvettes dans une cuve d'eau.....	<b>58</b>
Figure <b>II.15</b> : Essai de flexion sur éprouvette (4x4x16) cm.....	<b>59</b>
Figure <b>II.16</b> : Compression des éprouvettes.....	<b>59</b>
<b><u>Chapitre – III</u></b>	
Figure <b>III.1</b> : Courbe granulométrique du sable.....	<b>64</b>
Figure <b>III.2</b> : Principe de l'essai d'équivalent de sable.....	<b>65</b>
Figure <b>III.3</b> : Variation des masses volumiques en fonction de la teneur en fibres de Diss.....	<b>67</b>
Figure <b>III.4</b> : Evolution des résistances en compression en fonction de la teneur en fibres de Diss de 1cm de longueur.....	<b>69</b>
Figure <b>III.5</b> : Evolution des résistances en compression en fonction de la teneur en fibres de Diss de 2cm de longueur.....	<b>70</b>
Figure <b>III.6</b> : Evolution des résistances compression en fonction de la teneur en fibres de Diss de 3cm de longueur.....	<b>70</b>
Figure <b>III.7</b> : Evolution des résistances en compression en fonction de la longueur des fibres de Diss pour une teneur en fibres de Diss de 1%.....	<b>72</b>
Figure <b>III.8</b> : Evolution des résistances en compression en fonction de la longueur des fibres de Diss pour une teneur en fibres de Diss de 2%.....	<b>72</b>
Figure <b>III.9</b> : Evolution des résistances en compression en fonction de la longueur des fibres de Diss pour une teneur en fibres de Diss de 3%.....	<b>73</b>
Figure <b>III.10</b> : Evolution des résistances en flexion en fonction de la teneur en fibres de Diss de 1cm de longueur.....	<b>75</b>
Figure <b>III.11</b> : Evolution des résistances à la flexion en fonction de la teneur en fibres de Diss de 2cm de longueur.....	<b>75</b>
Figure <b>III.12</b> : Evolution des contraintes à la flexion en fonction de la teneur en fibres de Diss de 3cm de longueur.....	<b>76</b>
Figure <b>III.13</b> : Evolution des contraintes à la flexion en fonction de la longueur des fibres de Diss pour une teneur en fibres de Diss de 1%.....	<b>78</b>

Figure <b>III.14</b> : Evolution des contraintes à la flexion en fonction de la longueur des fibres de Diss pour une teneur en fibres de Diss de 2%.....	<b>78</b>
Figure <b>III.15</b> : Evolution des résistances en flexion en fonction de la longueur des fibres de Diss pour une teneur en fibres de Diss de 3%.....	<b>79</b>

## **Liste des abréviations**

Mf : Module de finesse

Rc : refus cumulé

ESP : équivalent de sable mesuré au piston

ESV : équivalent de sable visuel mesuré visuellement

MR : Mortier de référence

M (1cm) : Mortier à fibres de Diss de 1 centimètre de longueur

M (2cm) : Mortier à fibres de Diss de 2 centimètre de longueur

M (3cm) : Mortier à fibres de Diss de 3 centimètre de longueur

MFNT : Mortier à fibres de Diss non traités

MFT : Mortier à fibres de Diss traités

# *Introduction générale*

### **Introduction générale :**

Le génie civil est d'une grande importance dans la vie humaine Il contribue grandement dans plusieurs domaines tels que :

- Le domaine des transports (conception des ponts, construction des pistes d'aéroport et contribution à la conception d'une meilleure infrastructure).
- Le domaine de l'environnement (conception des réseaux d'égouts, construction de canaux. pour un environnement sain sans pollution et dommages).
- Le domaine du bâtiment et des travaux publics (Le génie civil joue un rôle majeur dans le développement du béton et de l'acier ainsi que l'analyse et la détermination de la forme structurelle du bâtiment).

Donc le Génie Civil une filière indispensable pour l'évolution d'une nation.

Face au développement que connaît le monde dans le domaine de la construction. Le béton et le mortier de ciment restent les matériaux le plus utilisés depuis longtemps, malgré ces nombreux avantages, ces derniers présentent quelques inconvénients. Parmi eux, nous avons :

- le béton et le mortier de ciment peuvent grandement contribuer à la pollution, puisque le ciment (l'un des principaux éléments du béton et de mortier) est un grand producteur de dioxyde de carbone, un gaz à effet de serre [1], (7 à 8% des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>) [2].
- Apparition de fissures.
- Faible résistance à la traction.
- Le temps de séchage du béton et mortier est plus ou moins long ce qui va ralentir la construction sur le chantier et augmente les coûts.

De nos jours le renforcement des matériaux de constructions (béton, mortier de ciment) par les fibres végétales est devenu une technique fiable qui augmente leurs résistances leurs durabilités et aussi pour son effet positif sur l'environnement, ainsi que le faible coût par rapport à d'autres fibres métalliques ou synthétiques. Mais tout cela dépend essentiellement du dosage et l'incorporation de ces fibres dans le béton et le mortier de ciment sans oublier les contraintes climatiques.

Plusieurs types de fibres végétales sont utilisés dans le renforcement du béton et de mortier de ciment telles que : l'Alfa, le Diss, feuilles de palmier, le lin, le coton...).

## Introduction générale :

---

La fibre Diss est considérée parmi les solutions sur lesquelles on peut compter comme matériau de renfort dans le domaine de construction, en raison de son abondance en Algérie (forêts, hauts Plateaux et steppes), Outre son coût économique acceptable.

L'objectif de ce mémoire est de mettre en évidence l'effet positif de Diss en tant que fibre végétale pour renforcer un mortier de ciment afin d'obtenir un mortier ayant des propriétés physiques et mécaniques qui permettent son utilisation dans la construction.

Concernant notre travail dans ce mémoire il est composé de trois chapitres :

Le premier chapitre représente une recherche bibliographique, subdivisé en quatre sous chapitres :

- Le premier traite les différents constituants utilisés pour former un matériau composite.
- Le deuxième est consacré aux fibres végétales utilisées dans le domaine de la construction à savoir leurs classifications, leurs morphologies ainsi que leurs méthodes d'extraction.
- Le troisième s'intéresse à l'étude de ciment comme constituant essentiel dans la préparation du mortier.
- Le quatrième est consacré à l'étude de différents mortiers de ciment.

Le deuxième chapitre s'intéresse d'une part à l'identification et la caractérisation des différents matériaux utilisés et d'autre part présente les méthodes expérimentales employées dans ce travail.

Le troisième chapitre consiste à présenter l'ensemble des résultats obtenus et les interpréter en vue d'une future utilisation.

Enfin, nous présentons une conclusion générale sur les caractéristiques des mortiers de ciment renforcés de fibres végétales, basée sur les résultats obtenus et les perspectives d'utilisation.

# **CHAPITRE I : Etude bibliographique**

## I.1. Introduction

Ce premier chapitre présente une synthèse bibliographique décrivant les caractéristiques générales des matériaux composite qui ont un large champ d'application et afin de les développer dans le domaine de la construction, des fibres végétales ont été utilisées pour les renforcer, et donc une bonne connaissance de leurs propriétés, qu'elles soient physiques ou chimiques, est nécessaire. Enfin et à travers ce chapitre nous voulons aussi exposer quelques bibliographies sur la matrice cimentaire ainsi que les mortiers de ciment.

## I. 2. Matériaux composite

### I. 2.1. Définition d'un matériau composite

Un matériau composite est défini comme un assemblage d'au moins deux composants non miscibles (mais ayant une forte capacité d'adhésion). Qui possède des propriétés que les éléments constitutifs seuls n'ont pas [3]. Il est généralement constitué d'un renfort le plus souvent sous la forme de particules (charges de renfort), ou de fibres, il constitue une ossature, assure la rigidité et la résistance tandis que l'autre composant c'est un liant appelé matrice. Celle-ci protège le renfort des facteurs agressif environnementaux (corrosion, etc.), assure la cohésion de la structure, la répartition des forces mécaniques au renfort et donne une forme au nouveau matériau constitué. Entre le renfort et la matrice, existe une zone de liaison appelée interface. (Voir figure I.1)

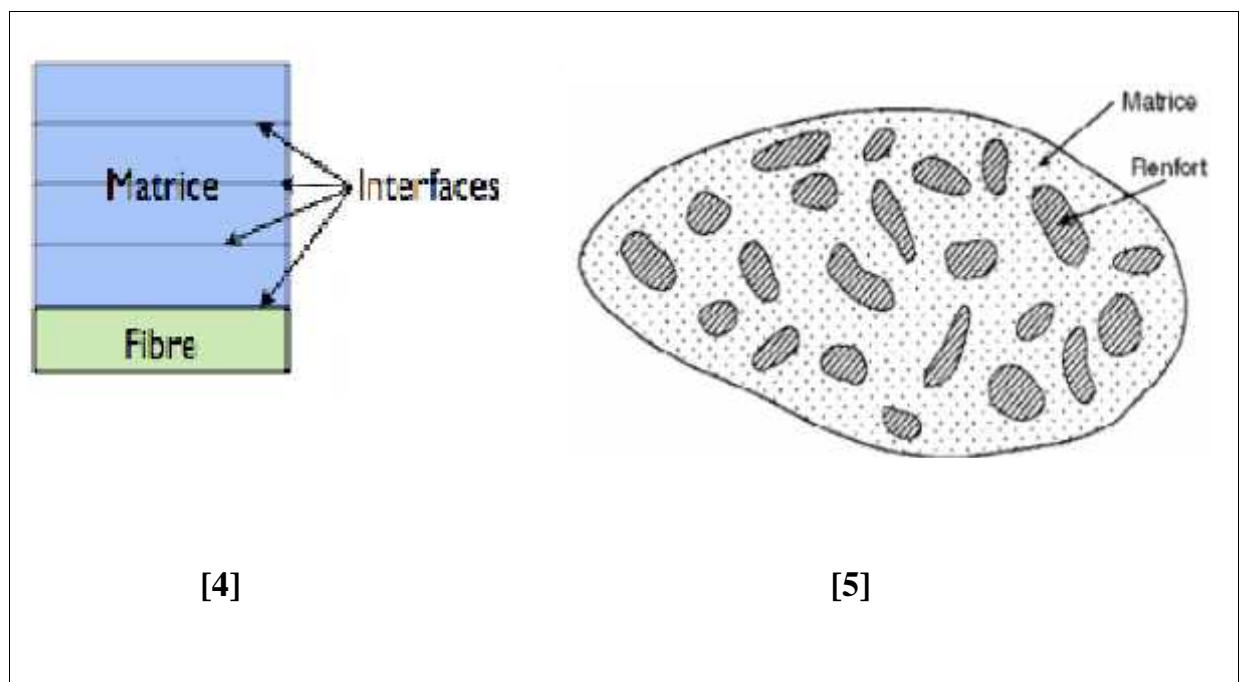


Figure I.1: Matériau composite

## **I. 2.2. Classification des matériaux composites**

Ils sont classés selon la nature des composants ou suivant la forme des composants.

### **I. 2. 2.1. Classification selon la nature des constituants:**

Il existe aujourd'hui un grand nombre de matériaux composites que l'on classe généralement en trois familles en fonction de la nature de la matrice [6] :

**a/ Les composites à matrice organique (CMO),**

**b/ Les composites à matrice céramique (CMC),**

**c/ Les composites à matrice métallique (CMM).**

Pour chacune de ces familles, citée ci dessus il existe différents types de renforts qui lui convient. Qui sont classés comme suit [7] :

➤ **Renforts associés à la matrice organique**

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

➤ **Renforts associés à la matrice métallique**

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

➤ **Renforts associés à la matrice céramique (minérale)**

- Fibres métalliques : bore,
- Particules métalliques : cermets,
- Particules minérales : carbures, nitrures, etc.,

### **I.2.2.1.1. Les composites à matrice organique (CMO) :**

Ce sont les plus utilisés aujourd'hui grâce à leurs coûts réduits permettant une production en grande série.

Il existe deux types de ces composites à matrice organique :

#### **❖ Composites à matrices thermodurcissables :**

Peuvent se présenter sous deux formes :

- Liquide visqueux appelé résine,
- Poudre.

Elles ont la particularité de durcir par apport de chaleur lors d'une réaction chimique appelée polymérisation. Cette réaction est irréversible et dégage une grande quantité de chaleur. On dit qu'elle est exothermique. Les thermodurcissables ne se ramollissent pas sous l'effet de la chaleur et forment après polymérisation une structure chimique tridimensionnelle qui confère au produit final des propriétés physico-chimiques et mécaniques intéressantes [8].

#### **❖ Matrices thermoplastiques :**

Peuvent se présenter sous différentes formes (Voir figure I.2 [8]):

- Granulés, • Filament,
- Poudre, • Plaque.

Elles sont définies comme des polymères constituées de chaînes linéaires ou ramifiées à liaisons covalentes. Elles se ramollissent sous l'action de la chaleur d'où le terme « thermoplastique » et se durcissent en se refroidissant de manière réversible [9].

Un renforcement à l'aide de fibres courtes leur confère une tenue thermique et mécanique améliorée et une bonne stabilité dimensionnelle [10].

Les principales matrices TP utilisées (possédant tous une tenue en température supérieure à 100 °C, hors POM) sont les suivantes [10]:

- Polyamide (PA) : tenue au choc, bonne résistance à la fatigue et aux hydrocarbures ;
- Polytéraphthalate éthylénique et butylénique (PET, PBT) : bonne rigidité, bonne ténacité ;

- Polycarbonate (PC) : tenue au choc ;
- Polysulfure de phénylène (PPS) : résistance à l'hydrolyse ;
- Polyoxyméthylène (POM) : bonne tenue à la fatigue ;
- Polysulfurés (PSU et PPS) : bonne stabilité chimique et à l'hydrolyse, peu de fluage, tenue au chaud ;
- Polypropylène (PP) : peu onéreux et assez stable en température, mais combustible.

De plus en plus, on utilise des thermoplastiques thermostables (tenue en température  $> 200\text{ °C}$  et bonnes propriétés mécaniques), en particulier les suivants :

- Polyamide-imide (PAI) ;
- Polyéther-imide (PEI) ;
- Polyéther-sulfone (PES) ;
- Polyéther-éther-cétone (PEEK).



Figure I.2 : Thermoplastiques [8].

**I.2.2.1.2. Les composites à matrice céramique (CMC) :**

Sont utilisés lorsque les températures sont supérieures à 1000°C. Dans ce type de composite, le renfort est généralement constitué de fibres longues en carbone, en silice ou en carbure de silicium, assemblées par tissage multidimensionnel. Ce renfort poreux est infiltré par la matrice (carbone, silice, carbure de silicium) qui se trouve soit en phase liquide soit en phase gazeuse. La dernière étape d'élaboration consiste à densifier le composite par frittage sous haute pression à haute température. Ces matériaux sont développés essentiellement dans le domaine aérospatial (disques de frein, tuyères, volets, tuiles ablatives...), en raison de leur haute résistance thermomécanique spécifique [11].

**I.2.2.1.3. Les composites à matrice métallique (CMM) :**

Par définition, un composite à matrice métallique est constitué deux éléments :

- une matrice métallique, par exemple en aluminium, magnésium, zinc,...
- un renfort métallique ou céramique, tels que des fils d'acier, particules de carbure de silicium (SiC), fibres de carbone, alumine,...

Les composites à matrice métallique ayant de la céramique comme renfort sont appelés cermets [12]. Elles présentent plusieurs avantages à savoir, une bonne ductilité, une bonne résistance en température et au feu, résistant à la corrosion. Cependant son coût est élevé.

**I. 2. 2.2. Classification selon la forme des constituants:**

En fonction de la forme des constituants, ceux-ci peuvent être divisés en trois types. La figure I.3 présente une classification schématique des matériaux composites. Nous y distinguons trois catégories principales : les composites renforcés par des particules, les composites renforcés par des fibres et les composites structuraux. Chacune de ces catégories se divise en au moins deux sous catégories [13].

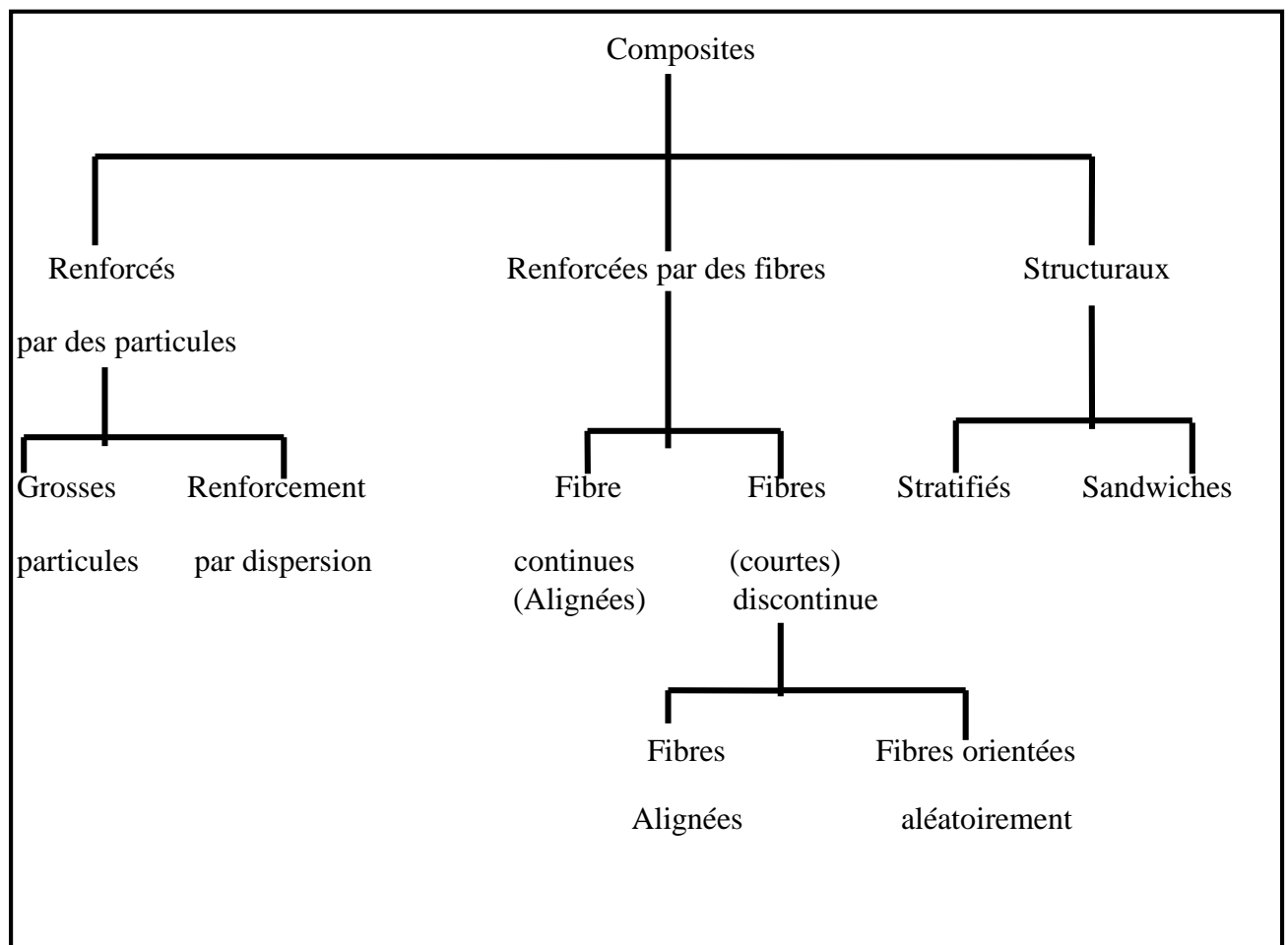


Figure I.3 : Classification schématique des différents types de composites [13].

### I. 2.3. Matériaux composites à base de fibres naturelles

Nous distinguons ceux à matrice polymérique et ceux à matrice minérale [14] :

#### I. 2.3.1. Matrice polymère et fibres végétales

Les composites à matrice polymérique (CMP) sont généralement constitués d'une matrice de résine (substance macromoléculaire formée par polymérisation ou polycondensation) et d'un renfort de fibres. Les matrices communément utilisées dans l'élaboration de composites à fibres naturelles vont des thermoplastiques, tels le polypropylène et le polyéthylène aux thermodurcissables tel le polyester.

Les fibres naturelles possèdent donc un fort potentiel de développement comme agent de renfort dans les matrices polymères. L'ensemble des études montrent également que l'adhésion entre les fibres et la matrice joue un rôle primordial sur les propriétés mécaniques du composite.

Il est donc indispensable de connaître les interactions chimiques de surface entre les différents constituants des composites avant de pouvoir réaliser une caractérisation mécanique de l'ensemble.

### I. 2.3.2. Matrice minérale et fibres végétales

Dans le domaine de l'habitat, le **torchis** est considéré comme le premier matériau composite de l'histoire. Il est composé d'une matrice plastique (terre) et de renforts (fibres végétales). C'était le matériau de construction des habitations dès le néolithique. Les **Celtes** l'ont utilisé pour construire les murs de leurs maisons. Enfin, en France, les chantiers dits d'ecoconception connaissent un essor considérable lié à une prise de conscience des problèmes environnementaux. Un de ces chantiers, par exemple à La Coquille en Dordogne regroupant des constructions en paille, chanvre ou autres, peut être visité.

Pour en finir les fibres végétales tel le chanvre sont utilisées dans le bâtiment et la construction : la fibre pour l'isolation et la chènevotte (partie boisée du chanvre) en mélange avec des chaux ou des liants spécifiques pour confectionner des mortiers, des bétons de chanvre, ou des briques de chanvre. Les bétons de chanvre permettent de réguler l'hydrothermie et de garantir un confort d'isolation thermique. Une précision doit être apportée sur la désignation « béton de chanvre » qui correspond en fait à des mélanges de type chaux-chènevotte. Ils sont faciles à utiliser et apportent une correction acoustique. La chènevotte peut être exploitée dans tous les domaines de la construction : chapes de réagréage, murs, doublages, cloisons, isolation de toiture et enduits.

### I. 2.3.3 .Avantages et inconvénients des fibres végétales comme renfort de matériaux composites

Les principaux avantages et inconvénients sont représentés dans le tableau suivant :

<b>Avantages</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible coût.</li> <li>- Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité).</li> <li>- Biodégradabilité.</li> <li>- Non abrasif pour les outillages.</li> <li>- Neutre pour l'émission de CO<sub>2</sub>.</li> <li>- Demande peu d'énergie pour être produite.</li> <li>- Pas de résidus après incinération.</li> <li>- Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres.</li> <li>- Ressource renouvelable. - Bon isolant thermique et acoustique.</li> </ul>
<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absorption d'eau.</li> <li>- Faible stabilité dimensionnelle.</li> <li>- Faible tenue thermique (200 à 230°C max).</li> <li>-Variation de qualité en fonction du lieu de croissance, des conditions météorologiques.</li> <li>- Pour des applications industrielles, nécessité de gestion d'un stock.</li> </ul>

Tableau N°1: Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux composites.

## I. 2.4. Avantages et inconvénients des composites

### ➤ Avantages

Ils apportent de nombreux avantages fonctionnels [15] :

- Légèreté.
- Résistance mécanique et chimique.
- possibilité de prendre plusieurs formes.
- augmentation de la durée de vie.
- contribution au renforcement de la sécurité grâce à une meilleure tenue aux chocs et au feu.
- offrent une meilleure isolation thermique.
- offrent une meilleure isolation phonique.
- bonne isolation électrique pour certains d'entre eux.
- Insensibilité aux produits comme les graisses, les liquides hydrauliques, les peintures et les solvants. [16].

### ➤ Inconvénients [16].

- Les procédés de fabrication exorbitants dans certains cas.
- La gestion des déchets engendrés et la réglementation de plus en plus stricte.
- Le recyclage est actuellement très limité parce que le broyage ou les autres procédés sont très coûteux et fournissent une matière de faible qualité.

Ces quelques inconvénients et défis à relever, ont poussé les chercheurs et les pouvoirs publics de part le monde à investir et orienter les recherches vers les ressources renouvelables et biodégradables.

## I. 2.5. Conclusion

L'intérêt pour les matériaux composites s'est accru ces dernières années, en raison de leurs excellentes propriétés, qui attirent l'attention des fabricants et des industriels. Ces matériaux ont fait leurs preuves dans de différents domaines (aviation, transport, industrie civile et militaire, industries agricoles et médicales, constructions etc.). Ils sont plus légers, plus résistants, économes en matières premières, donc ils pourraient prendre de plus en plus une place importante dans l'avenir le plus proche en tant qu'éléments essentiels de la construction et de la rénovation. Dans le premier de ce chapitre nous avons voulu définir et parler des matériaux composites en termes de leurs constituants, leurs classifications. Enfin, nous terminons ce chapitre par les avantages et inconvénients des matériaux composites.

### I. 3. Fibres végétales

#### I. 3.1. Définition de la fibre végétale

Une fibre végétale est une expansion cellulaire filiforme et morte, principalement composée de cellulose, d'hémicelluloses, de lignines, et de pectines. Elle est isolée ou compose avec d'autres un faisceau (Voir figure I.4).

Les fibres végétales peuvent permettre aux industriels des matériaux de réduire leur dépendance vis-à-vis du pétrole, grâce à leurs propriétés mécaniques, leur faible densité, leur résistance thermique, leur absorption phonique, leurs propriétés de surface, et leur biodégradabilité [17].



Figure I.4 : Gros plan sur une fibre d'abaca [17].

#### I. 3.2. Classification des fibres végétales

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance à s'avoir : les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface [18].

##### I. 3.2.1 Les Fibres de Feuilles

Ces fibres sont obtenues grâce au rejet des plantes monocotylédones. Les fibres sont fabriquées par chevauchement de paquet qui entoure le long des feuilles pour les renforcer ces fibres sont dures et rigides. Les types de fibres de feuilles les plus cultivées sont la fibre de sisal, et d'abaca.

##### I. 3.2.2 .Les Fibres de Tiges

Les fibres de tige sont obtenues dans les tiges des plantes dicotylédones. Elles ont pour rôle de donner une bonne rigidité aux tiges de plantes.

Les fibres de tige sont commercialisées sous forme de paquet de cor et en toute longueur. Elles sont par la suite séparées individuellement par un processus de défilage. Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie de sunn, de kenaf, et de chanvre.

### **I. 3.2.3. Les Fibres de Bois**

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes.

### **I. 3.2.4. Les Fibres de Surface**

Les fibres de surface entourent en général la surface de la tige, de fruits ou de grains. Les fibres de surface des grains constituent le groupe le plus important dans cette famille de fibres. Nous citons entre autre le coton et la noix de coco (coco).

**NB** : Il est à noter que, les fibres végétales citées ci dessus sont utilisées dans le renforcement du ciment et béton.

## **I. 3.3. Morphologie des fibres végétales**

Les fibres végétales sont des expansions cellulaires assimilables à un matériau composite renforcé par des fibrilles de cellulose (Figure I.5 [19]). La matrice est principalement composée d'hémicellulose et de lignine. L'ensemble est couvert en général avec des cires et des impuretés. Les fibrilles (petites fibres) celluloses sont formées d'une paroi primaire (externe) très mince et très élastique, qui entoure une couche secondaire plus épaisse. Sachant que la paroi primaire contient une teneur en cellulose allant de 8 à 14%. La deuxième couche est celle qui contient la proportion majeure de cellulose et est constituée des trois couches distinctes (S1, S2 et S3). La couche S2 est connue comme couche du milieu c'est la plus épaisse et la plus importante dans la détermination des propriétés mécaniques. La couche de milieu S2 est la couche la plus épaisse et la plus déterminante dans les propriétés mécaniques des fibres par ce qu'elle est composée de microfibrilles de cellulose qui sont parallèles mais disposées en hélice suivant un angle appelé angle microfibrillaire (MFA) (Figure I.6 [19]). L'angle microfibrillaire et la teneur en cellulose sont des paramètres très importants dans la détermination du comportement mécanique de la fibre [20].

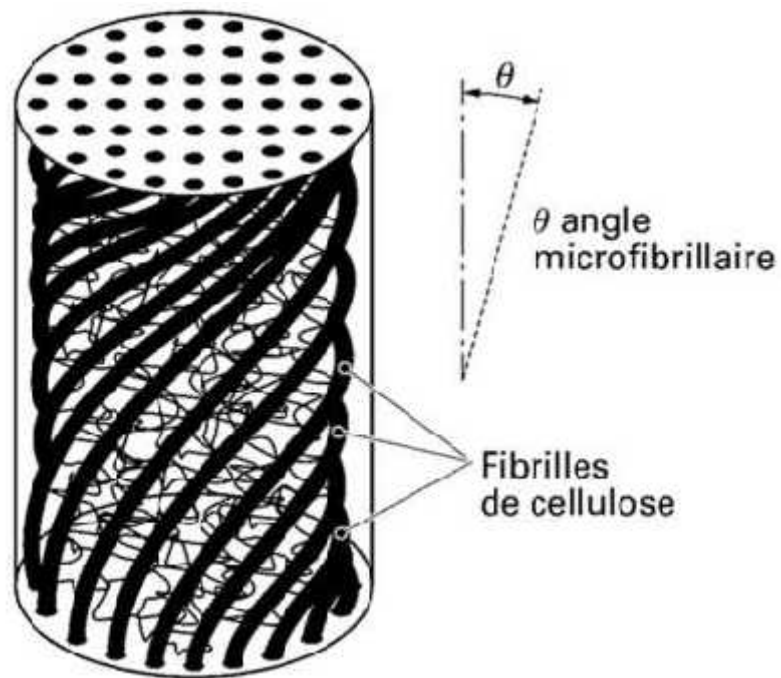


Figure I.5 : Schéma de principe de la structure d'une fibre végétale [19].

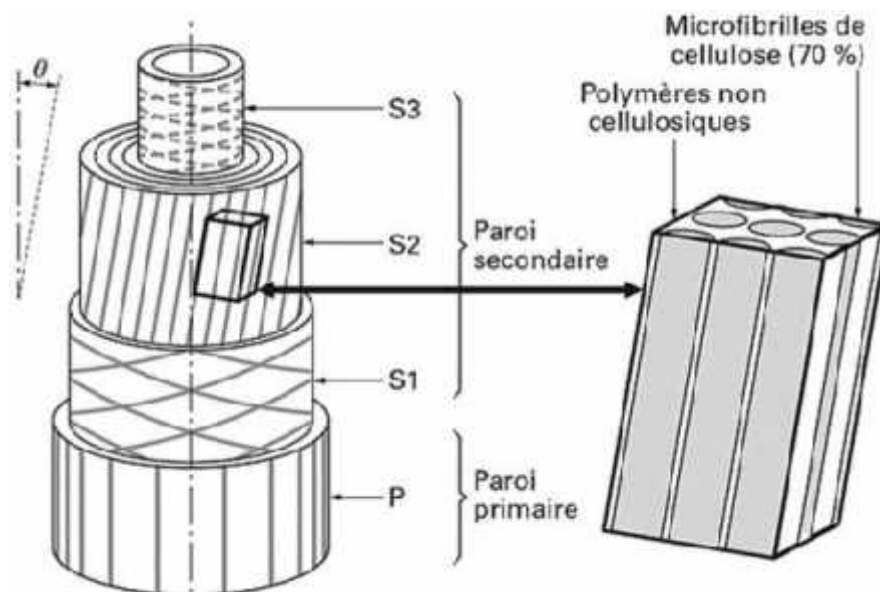


Figure I.6: Schéma de la microstructure d'une fibre végétale [19].

### **I. 3.4. Principaux constituants chimiques des fibres végétales**

Selon leur composition chimique les fibres végétales se composent principalement de constituants suivant : la cellulose, l'hémicellulose, la lignine et la pectine et les cires [21].

#### **I. 3.4.1. la cellulose**

La cellulose est la molécule organique la plus abondante sur la terre. Elle est le constituant principal des fibres végétales avec une teneur variant de 15 % à 99 % [tableau 2]. La cellulose est un polysaccharide constituée à plus de 95 % de glucose, mais certains sucres tels que le galactose, le mannose ou le xylose peuvent être incorporés en petite quantité dans les chaînes. Les fibres de cellulose sont considérées comme des fibres naturelles organiques elles sont biodégradables et recyclables [22].

L'utilisation de la cellulose est fortement répandue dans le monde en tant que matière première pour la fabrication des matériaux de construction (utilisation directe du bois), de textiles (coton, viscose), de papiers et cartons.

La cellulose existe sous diverses formes appelées allomorphes. Ces formes diffèrent par leurs propriétés physiques et chimiques (par exemple la solubilité, la densité, la température de fusion) et dans une plus grande mesure par leur forme cristalline [23].

La cellulose est résistante aux solutions basiques même à pH très élevé et elle est résistante aux agents oxydants mais elle très sensible aux acides qui causent son hydrolyse [24].

Espèce végétale	Teneur en cellulose (% de la matière sèche)
Coton	95-99
Lin	70-75
Bouleau, bambou, blé	40-50
Maïs	17-20

**Tableau N° 2** : Teneur en cellulose de quelques espèces végétales [22].

### **I. 3.4.2. Les hémicelluloses**

Les hémicelluloses représentent après la cellulose, le polysaccharide le plus abondant dans la nature. Elles constituent par définition des polymères hydrophiles, solubles en milieu alcalin et facilement hydrolysables par les acides. Les hémicelluloses regroupent tous les polysaccharides qui ne sont ni cellulosiques, ni pectiques présents dans la paroi cellulaire végétale, sont thermiquement moins stables que la cellulose [25]. Elles sont utilisées comme des additifs alimentaires, des plastiques (films et revêtements) et des produits pharmaceutiques [26].

### **I. 3.4.3 .Les lignines**

Les lignines (du latin lignum qui signifie bois) est un groupe de substances végétales complexes, hautement polymérisées, imprégnant les parois cellulosiques des cellules des tissus lignifiés. La lignine se trouve principalement localisée dans les structures intercellulaires et fournit la cohésion aux matériaux ligneux, mais limitant leur élasticité [27].

Après la cellulose (constituant 35 à 50 % de la biomasse végétale terrestre) et l'hémicellulose (30 à 45 %), la lignine (15 à 25 %) forme la troisième famille de composés par ordre d'abondance dans les plantes et dans les écosystèmes terrestres où domine la biomasse végétale .

Quantitativement, la teneur en lignine est de 3 à 5 % dans les feuilles, 17 à 24 % dans les tiges herbacées, 18 à 33 % dans les tiges ligneuses elle est moindre pour les plantes annuelles que pour les vivaces, elle est maximum chez les arbres. Ses principales fonctions sont d'apporter de la rigidité, une imperméabilité à l'eau et une grande résistance à la décomposition [28].

#### **I. 3.4.4. Les pectines**

Les pectines sont des polysaccharides, rattachées aux glucides. Ce sont un des constituants de la paroi végétale, elles jouent un rôle structural dépendant des conditions ioniques du milieu (rapport  $H^+/Ca^{2+}$ ). Les chaînes formées sont reliées entre elles pour constituer un réseau ou gel. Cet ensemble permet d'emmagasiner une grande quantité d'eau [29]. Les pectines donnent aux plantes leur flexibilité, sont thermiquement stable mais responsable de la dégradation de la fibre par les U.V. (ultraviolets) [30].

#### **I. 3.4.5. Les cires**

Les cires végétales sont produites et localisées à la surface des parties aériennes des plantes, au niveau de leur cuticule Cette dernière constitue une véritable interface entre les plantes et leur environnement et remplit diverses fonctions physiologiques et écologiques. Ainsi, la cuticule intervient dans le contrôle de la perte en eau et donc de la concentration et du transport des solutés au sein de la plante. Elles constituent une protection contre les agressions environnementales (sécheresse, température, UV...) ou mécaniques et une barrière efficace contre les infections fongiques ou bactériennes. Par ailleurs, la présence d'une fine couche lipidique à sa surface, permet à la plante d'éviter les rétentions d'eau et d'éliminer les dépôts de poussière, de pollen ou encore de polluants.

À cause de leur composition et propriétés physiques très variables, les cires végétales (fractions brutes, raffinées ou spécifiques) ont trouvé de nombreuses applications dans les domaines alimentaire, cosmétique, bougie, revêtement, vernis, polymère et pharmaceutique [31].

### **I. 3.5. Méthodes d'extraction des fibres végétales**

Il existe quatre principales familles de procédés pour extraire les fibres végétales.

Les différentes techniques d'extraction sont :

### 1) Rouissage biologique [32]:

Il se base sur l'activité des microorganismes, ce qui implique une durée d'extraction plus longue que les autres procédés. Plusieurs procédés de rouissage sont utilisés :

➤ Rouissage au champ :

Après avoir arraché la plante de la terre tout en conservant les racines, la plante est laissée sur terre pendant quelques semaines. Elle est exposée aux différents facteurs climatiques afin de favoriser le développement des micro-organismes. Ces derniers viennent attaquer la matière pectique qui relie les faisceaux de fibres entre elles. Cette action permet une extraction de la fibre et un affinage plus facile. En dernier, cette étape est suivie par un lavage à l'eau qui en résulte des fibres bien séparées les unes des autres. C'est une méthode peu coûteuse. Par contre, elle nécessite une grande surface.

➤ Rouissage en étang :

C'est une technique qui consiste à immerger différentes parties de la plante dans l'eau dont elle sera extraite grâce au développement naturel de bactéries anaérobies, ce qui entraîne la dégradation des grosses molécules végétales qui relient les faisceaux fibreux entre elles. Ce procédé n'est plus appliqué malgré ses excellents résultats pour des raisons sanitaires et environnementales en plus cette méthode consomme une quantité importante d'eau.

➤ Rouissage enzymatique :

Ce procédé vise à remplacer le rouissage au champ et en étang pour éviter la pollution des eaux et diminuer le temps du traitement. Cette méthode consiste soit à immerger les fibres dans une solution enzymatique, soit à pulvériser l'enzyme (Pectinase, Viscosyme), sur l'ensemble des fibres afin d'économiser l'eau. Sachant qu'il y a des précautions qui doivent être prises en compte pour préserver l'enzyme des dommages, telle que la température et le pH [33].

### 2) Rouissage chimique :

Ce procédé d'extraction est généralement réalisé soit par la soude caustique (NaOH) ou en utilisant Les acides doux comme l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) et l'acide oxalique (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) en combinaison avec un détergent. Il est à noter que la proportion des constituants de la solution de traitement détermine la qualité des fibres extraites [34], sachant que la méthode chimique réduit partiellement le diamètre de la fibre [35].

### 3) Rouissage mécanique :

L'extraction des fibres se fait mécaniquement à l'aide des machines à décortiquer : le vapocraquage, et le process Tilby. Cette dernière se révèle efficace notamment dans l'extraction des fibres de canne à sucre, de maïs et d'autres plantes cellulosiques. L'avantage de ce process est de réaliser une extraction sans désintégration des constituants [36]. Sachant que dans le cas d'autres plantes comme le Bambou les méthodes utilisées se font soit manuellement ou à l'aide d'une machine par l'écrasement sous presse ou par laminage où les fibres sont détachées les unes des autres. Ceci est répété plusieurs fois de suite jusqu'à ce que les fibres soient le plus possible séparées [37], la figure I.7 résume la plupart des procédés de séparation des fibres utilisés de nos jours.

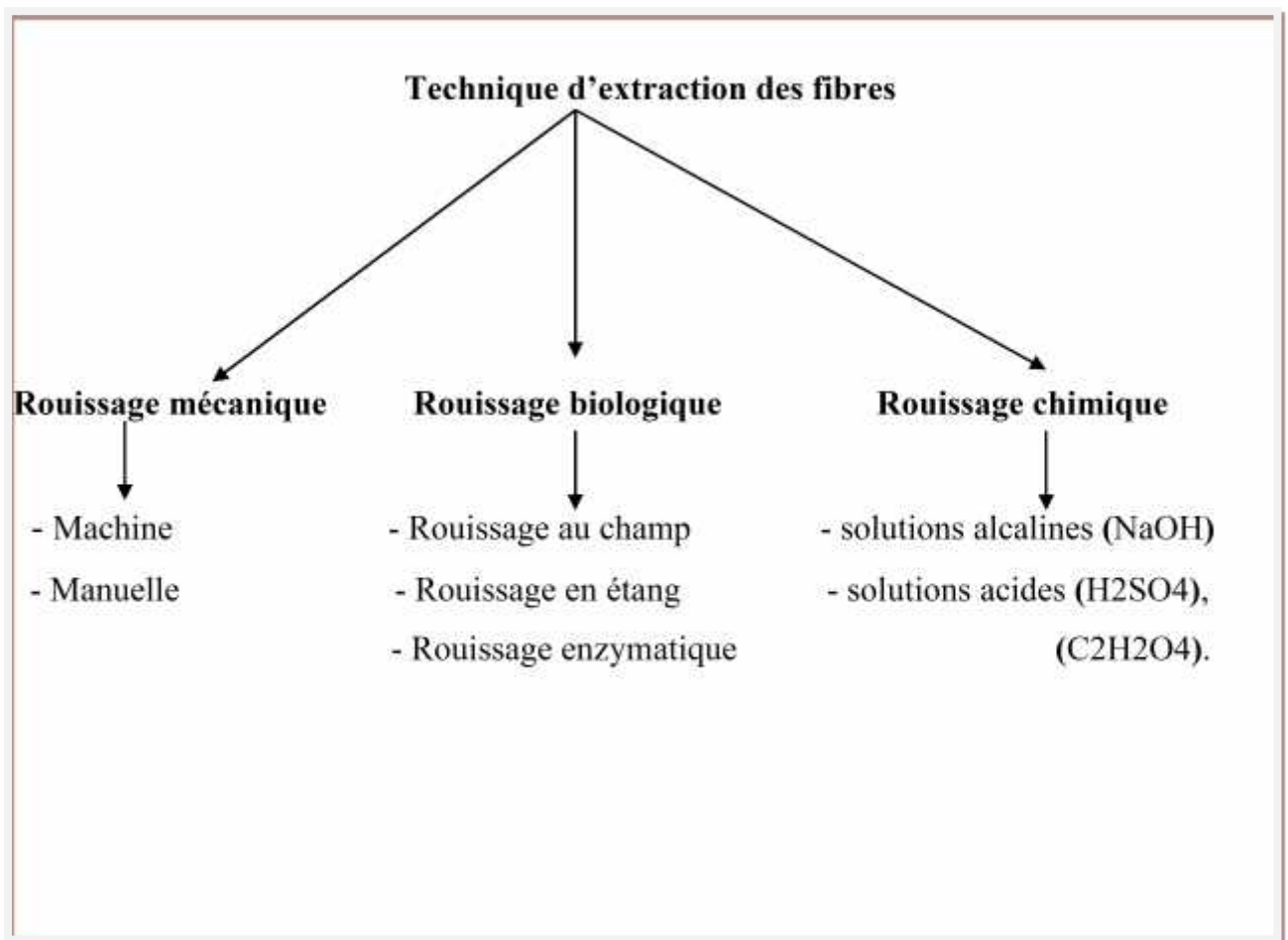


Figure I.7 : Représentation schématique des différents procédés d'extraction des fibres végétales.

**I. 3.6. Conclusion**

Afin de préserver l'environnement ainsi que la santé humaine et compte tenu de la conjoncture économique dans le secteur de la construction, les fibres végétales sont une excellente alternative par rapport aux fibres synthétiques conventionnelles du fait de leur disponibilité naturelle dans le monde entier, ceci d'une part et d'autre part, elles présentent un faible coût en plus de leur effet positif sur le béton et d'autres matériaux cimentaires, notamment en termes d'amélioration de leur comportement mécanique (résistance et rigidité).

Dans le même contexte nous avons abordé le second point de ce chapitre qui été consacré aux fibres végétales en commençant par les définir ensuite s'intéresser à leur classification, leur morphologie ainsi que ces principaux constituants chimique, le principal d'entre eux est la cellulose enfin les procédés d'extraction ont été considérablement détaillé afin de mieux les comprendre. Pour terminer une compréhension correcte et approfondie des fibres végétales conduit à leur valorisation et leur utilisation efficace dans le domaine de construction.

## I.4. Matrice cimentaire

### I.4.1. Définitions d'un ciment

Le ciment est une matière pulvérulente (état de poudre), à base de silicate et d'aluminate de chaux, obtenue par cuisson, en proportions variables selon les matières premières utilisées qui sont la roche calcaire et l'argile. Elles sont broyées et éventuellement additionnées de produits secondaires. Le mélange obtenu s'appelle le cru et est composé d'environ 80 % de calcaire et d'environ 20 % d'argile. Cette matière forme, avec l'eau ou une solution saline, une pâte plastique liante. Après avoir durci dans l'air ou dans l'eau, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité [38].

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière minérale finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau [39]. D'un point de vue minéralogique, le ciment peut être défini comme un mélange d'oxyde basique, CaO, note C, et d'oxydes acides ou amphotères comme SiO<sub>2</sub>, note S, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, note A, ou Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, note F, en notation cimentaire[40].

### I.4.2. Les grandes familles de ciment

On distingue deux grandes familles de Ciments (voir Figure I.8) :

a/ les ciments Portland

b/ les ciments alumineux

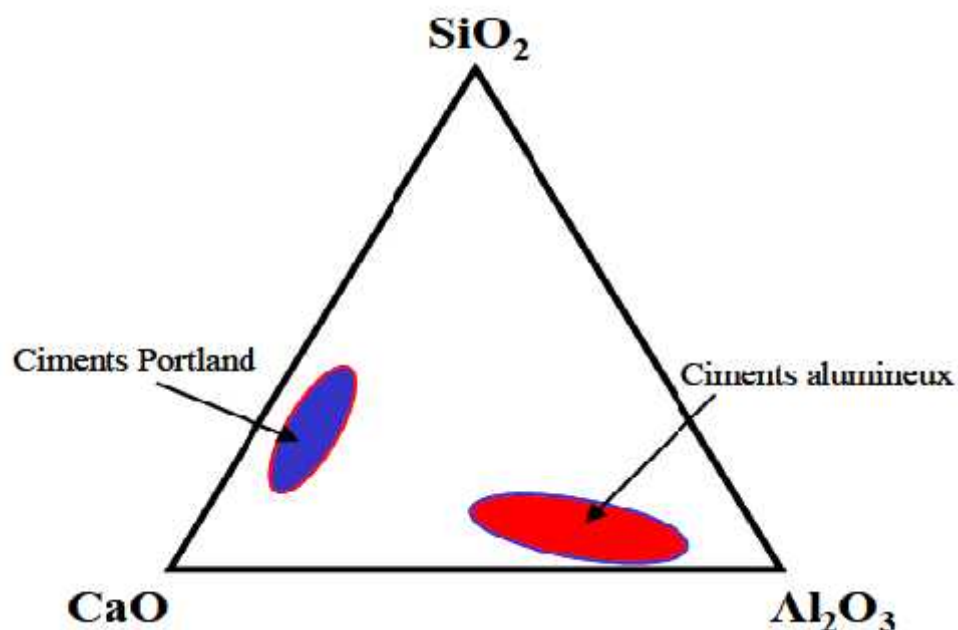


Figure I.8: Diagramme de phase ternaire CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, et repérage des compositions de ciment Portland et de ciment alumineux [40].

### I.4.2.1 les ciments Portland

Constitués majoritairement de silice ( $\text{SiO}_2$ ) et de chaux ( $\text{CaO}$ ) et qui sont utilisés principalement dans les bétons de bâtiment et les ouvrages de génie civil ; Il est préparé à partir d'un mélange de calcaire et d'argile (respectivement 80% et 20% en masse) calciné à  $1450^\circ\text{C}$  pour former le **clinker**. Les granules de clinker, d'un diamètre compris entre 5 et 40mm, sont finement broyées avec addition de gypse (3 à 5% en masse) dont le rôle est de réguler la prise.

Les phases minérales qui composent un ciment sont, par ordre d'importance quantitative, présentées dans le tableau (Tab. N° 3). Ces phases sont rarement pures. Elles contiennent des impuretés en faible teneur dans leurs réseaux cristallins. Le clinker contient aussi des éléments mineurs ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ).

Désignation des minéraux purs	Formules	Abréviation cimentière	Dénomination	Pourcentage massique (%)
Silicate tricalcique	$3\text{CaO}, \text{SiO}_2$	C3S	Alite	55 à 70
Silicate bicalcique	$2\text{CaO}, \text{SiO}_2$	C2S	Bélite	10 à 25
Aluminate tricalcique	$3\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3$	C3A	Aluminate tricalcique ou célite	0,5 à 13
Alumino-ferrite de calcium	$2\text{CaO},$ $x\text{Al}_2\text{O}_3,$ $(1-x)\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{A}_x\text{F}_{1-x},$ $0 < x < 0,7$	Alumino-ferrite	1 à 15

Tableau N° 3 : Composition et phases du clinker.

Il est important de signaler que le contact du ciment Portland avec l'eau déclenche un mécanisme d'hydratation complexe, comprenant trois étapes comme suit :

- l'adsorption physique et chimique de l'eau par les grains de ciment,
- la solvatation, des grains de ciment ou phases anhydres, en présence d'eau,
- la précipitation des phases hydratées (voir Figure. I.9) [40].

L'hydratation du ciment provoque le durcissement de la pâte, qui se transforme ensuite en un matériau solide et résistant [41].

Ainsi pour une hydratation totale, le ciment a besoin d'une quantité d'eau équivalente à 38% de son poids [42].

Sachant qu'avant d'atteindre son stade final, l'évolution du ciment passe par trois phases successives comme le montre la figure I.10 [43].

- **Phase d'induction** : La pâte de ciment évolue lentement pendant une durée allant de quelques minutes à plusieurs heures suivant la nature du ciment. Dès le malaxage, les premières réactions se produisent, mais elles sont ralenties par la présence du gypse.
- **Début et fin de prise** : Après une à deux heures pour la plupart des ciments, on observe une augmentation brusque de la viscosité et surtout du seuil de cisaillement: c'est le début de prise. Il est accompagné d'un dégagement de chaleur associé à la réaction d'hydratation qui est exothermique. La fin de prise correspond au moment où la cinétique d'hydratation devient à nouveau faible.
- **Durcissement** : On a l'habitude de considérer le durcissement comme la période qui suit la prise et pendant laquelle l'hydratation du ciment se poursuit très lentement. La résistance mécanique continue à croître avec le temps. Cependant la résistance à 28 jours est la valeur conventionnelle pour une conservation des échantillons sous eau.

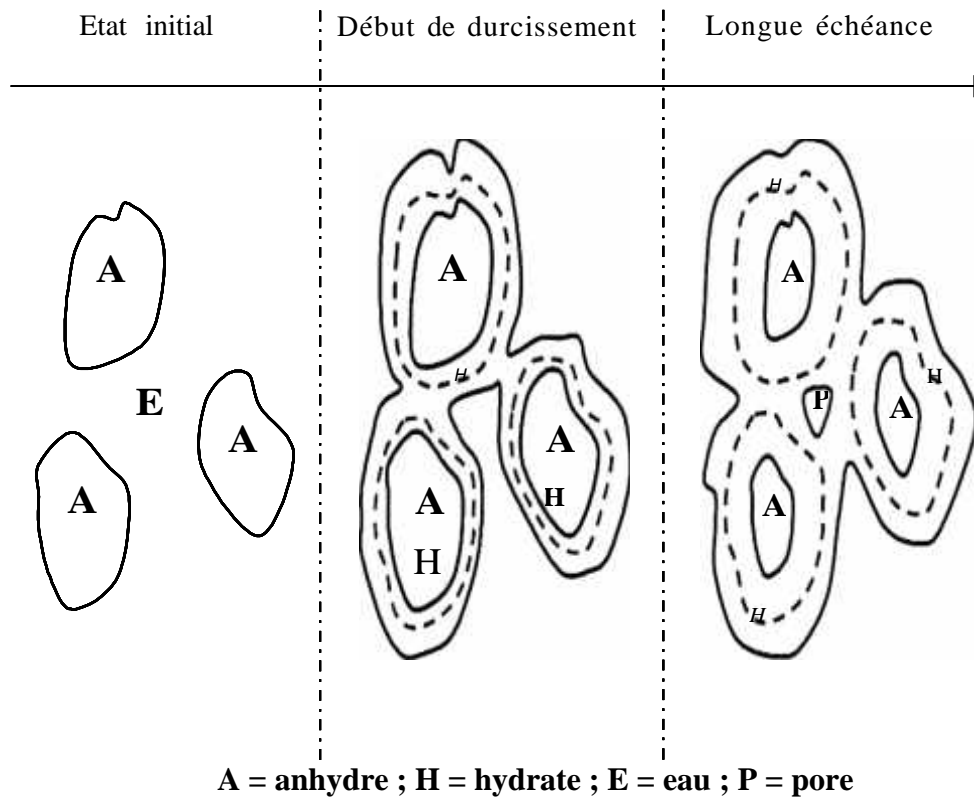


Figure. I.9: Représentation simplifiée de l'hydratation des grains de ciment [40].

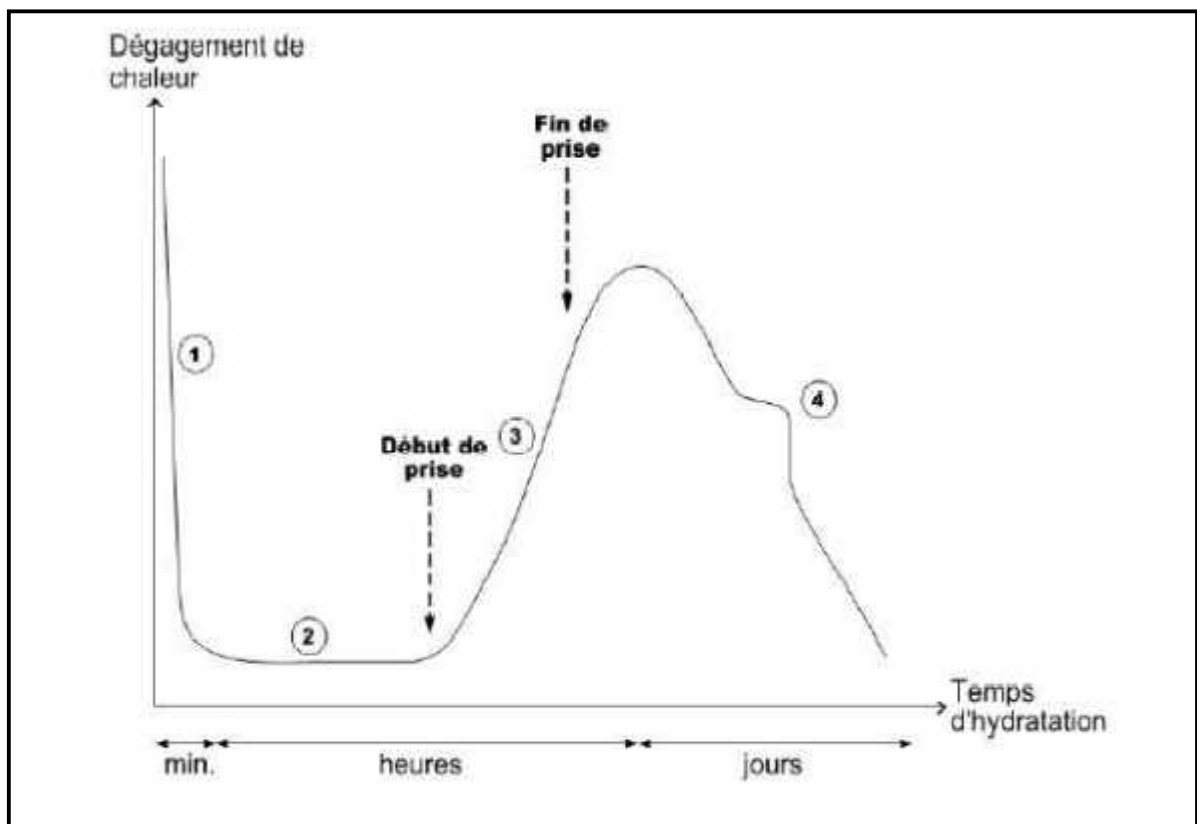


Figure I.10: Courbe typique de calorimétrie isotherme d'un ciment [43]

### I.4.2.2. les ciments alumineux

C'est à la fin du 19<sup>e</sup> siècle qu'on inventera le ciment d'aluminates de calcium (voir figure I.11) pour remplacer le ciment Portland dans les bétons de structure exposés aux attaques sulfatiques. Depuis plus d'un siècle, ce ciment, en fonction des périodes et des pays, a connu plusieurs appellations différentes comme ciment à haute teneur en alumine, ciment alumineux, ciment fondu, etc.

Outre sa résistance aux sulfates, le ciment d'aluminates de calcium a montré de nombreuses particularités : un durcissement très rapide et des qualités qui lui permettent de résister à des conditions extrêmes qui peuvent même être associées entre elles : abrasion sévère, attaque acide, attaque bactérienne, températures élevées, cycles thermiques et hydriques, cycles de gel-dégel.

Le ciment alumineux peut atteindre, en 24 heures, une résistance équivalente à celle du ciment Portland en 28 jours. Le durcissement naturel rapide de l'aluminate de calcium est recommandé pour les applications de préfabrication, et ses propriétés de résistance sont destinées à être utilisées dans des conditions environnementales et thermiques particulièrement sévères [44]. Il est également utilisé en génie civil pour la confection de sols industriels, d'ouvrages d'assainissement ou des mises en service rapides, et dans la réalisation de réfractaires monolithiques utilisés dans l'industrie sidérurgique ou verrière [45].

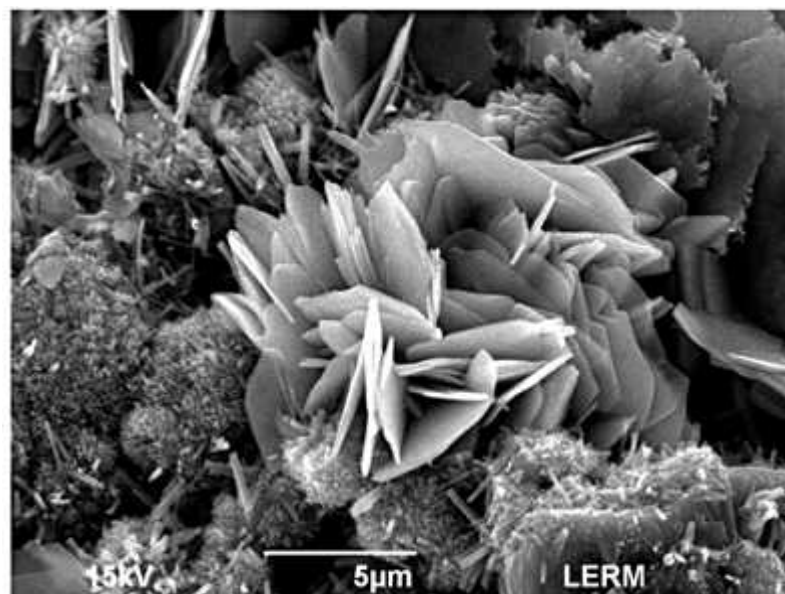


Figure I.11 : Aluminates de calcium [44].

Il est à noter que le ciment alumineux est fabriqué par fusion d'un mélange de bauxite et de calcaire, sa composition chimique est constituée principalement : des aluminates, silicates, ferrites, et d'autres constituants mineurs (titane, magnésium, oxydes de sodium et de potassium, traces de composés de manganèse et de phosphore). Concernant l'hydratation du ciment alumineux se produit par un mécanisme de solubilisation/précipitation qui se déroule en trois étapes :

### 1er étape :

Au contact de l'eau, les composés anhydres s'y dissolvent et atteignent une concentration telle que la solution est sursaturée en  $\text{Ca}^{2+}$  et en  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  par rapport aux constituants du ciment. Cette étape est particulièrement rapide, puisque les réactifs anhydres réagissent violemment avec l'eau. Ceci est particulièrement vrai pour un ciment riche en  $\text{C}_{12}\text{A}_7$ .

### 2er étape :

Les concentrations en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  en solution demeurent constantes, mais la solution est métastable. C'est la période dormante.

### 3er étape :

La précipitation spontanée des hydrates se produit. Une baisse des concentrations en  $\text{Ca}^{2+}$  et en  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  est observée. C'est le début des réactions exothermiques. La durée de la sursaturation dépend de la nature des composés anhydres et de la température [46].

## **I.4.3.Fabrication du ciment**

### **I. 4.3.1. Fabrication du ciment portland**

Le ciment portland est fabriqué à partir d'un mélange de calcaire et d'argile extraits de carrières, en proportions variables selon les matières premières utilisées

- Carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  (80%)
- Silice  $\text{SiO}_2$  (14%)
- Alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (3%)
- Oxyde ferrique  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (3%)

Le mélange ainsi obtenu est séché et broyé, pour obtenir la « farine/crue ». Celle-ci ensuite passe dans un four où la température atteint ( $1450^\circ\text{C}$ ). Sous l'action de cette température élevée, il y a formation de silicates et d'aluminates de calcium : c'est la clinkérisation. Le produit formé est appelé Le **clinker** ensuite les granules clinker sont broyés finement en présence de gypse

(3 à 5% en masse) qui a un rôle régulateur de la prise du ciment. Nous obtenons alors le ciment Portland [47].

La clinkérisation (cuisson) se déroule comme la montre la figure I.12, tout en respectant les différentes phases suivantes [48]:

- Optimisation de la composition (phase liquide)
- Optimisation de la granulométrie (broyage)
- Déshydratation, séchage (100 à 500 °)
- Décarbonatation, calcination (800 à 1100 °)
- Clinkérisation, fusion partielle (1200 à 1450 °).

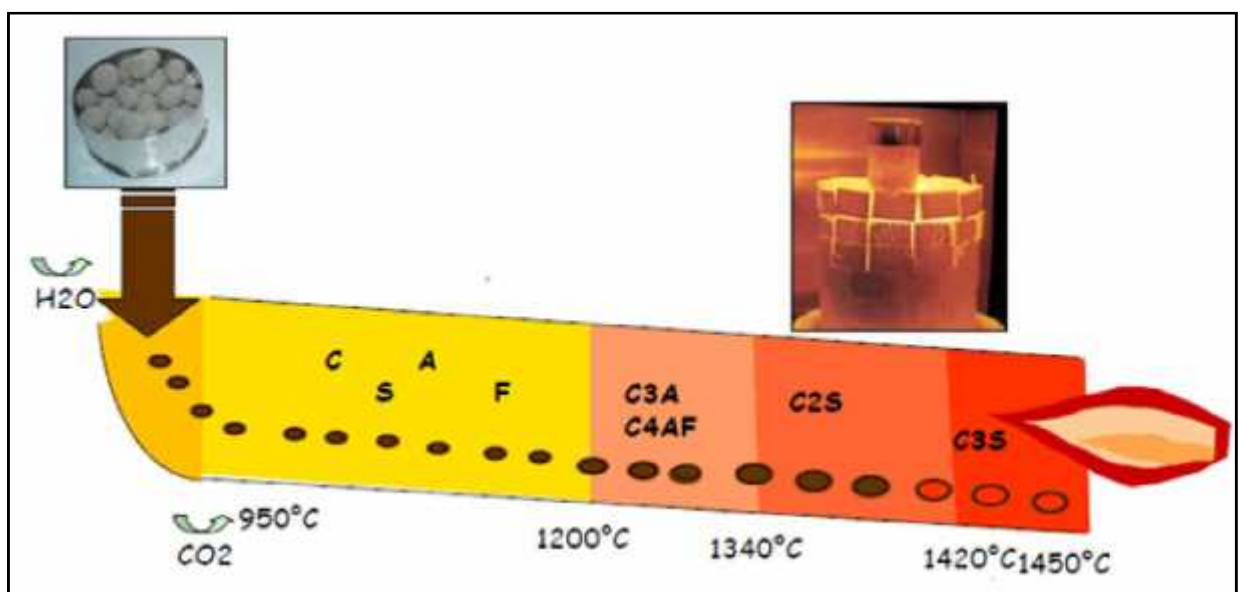


Figure I.12 : La cuisson du cru et cheminement dans le four [48].

**N B :** L'appellation de Ciment Portland est tirée son nom de la pierre calcaire de la péninsule de Portland, au sud de l'Angleterre [47].

#### I. 4.3.2. Fabrication du ciment alumineux

Pour la production du ciment alumineux on utilise les matières premières suivantes : le calcaire et la bauxite.

Sachant que ces matières premières employées ne doivent pas représenter une teneur trop élevée en silice afin de conserver au ciment ses qualités de durcissement rapide. La teneur finale en silice doit être inférieure à 6% [49].

➤ **Les étapes de fabrication [49] :**

1. Préparation de matières premières :

La première opération pour la préparation des matières premières du ciment est le concassage et /ou le broyage, suivi du mélange. Les matériaux sont broyés séparément, mélangés, séchés et ensuite soumis à un broyage plus finement alumineux qui a lieu dans des broyeurs à boulets, puis dans des broyeurs à cylindres ou même dans des broyeurs composés.

2. cuisson du cru jusqu'au point de frittage :

La méthode de cuisson jusqu'au point de frittage, c'est une opération qui consiste à effectuer la cuisson du cru, finement broyé et bien homogénéisé jusqu'au frittage dans un milieu réducteur. Les fours utilisés pour cette étape peuvent être : rotatifs, tunnels de céramiques, circulaires de céramique ou des hauts fourneaux. Le mélange des matières premières entrant dans les fours (sauf pour les fours rotatifs) est en forme de briquettes. La méthode par frittage demande une bauxite à faible teneur en silice  $\text{SiO}_2$  et en oxyde de fer  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . La température de frittage du ciment alumineux est située entre 1250 et 1350°C, et la température de fusion est de 1400°C. Dans la pratique, on travaille vers 1400 – 1450°C pour la méthode par frittage et 1700 – 1800°C pour la méthode de fusion.

3. cuisson du cru jusqu'au point de point de fusion

Cette opération consiste à effectuer la cuisson jusqu'à la fusion du cru, les fours utilisés pour cette étape peuvent être : des fours à cuve à chemise d'eau, des fours électriques, des fours à réverbères, des hauts fourneaux.

Dans les hauts fourneaux, les couches des matières (bauxite et calcaire) et combustible (coke) sont disposées en couche superposées, c'est-à-dire couche de cru suivie de couche de coke, et ainsi de suite. Le ciment alumineux fondu et la fonte, produits obtenus simultanément dans ce type de fours se séparent en deux couches distinctes, et sont périodiquement évacués séparément.

4. Broyage de ciment alumineux

La dureté de la masse du clinker de ciment alumineux est de 7 – 7.5 (échelle de Mohs). Le concassage et le broyage du clinker de ciment alumineux s'effectuent dans des concasseurs et broyeurs plus puissants que ceux utilisés pour le ciment artificiel Portland ordinaire. Le tamisage s'effectue avec un tamis N° 0085, supérieur à 90% de particules passantes.

**I.4.4. Conclusion**

Concernant ce troisième point de ce chapitre, la recherche bibliographique était indispensable pour obtenir des informations concernant le ciment en particulier les ciments portland et les ciments alumineux en terme de leurs : matières premières et ses constituants principaux, leurs réactivités hydrauliques, leurs propriétés et leur processus de fabrication.

## I.5. Les Mortiers

### I.5.1. 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 (voir figure I.13) [50].



Figure I.13 Mortier (sable + ciment + eau)

### I.5.2. Composants du mortier

Le mortier est principalement fait d'un liant (ciment ou chaux), de sable et d'eau

#### I.5.2.1. Le Liant

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 des environnements.

Généralement, on peut utiliser [50]:

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

Il est à noter qu'il s'agit de chaux ou de ciment, on doit rejeter son emploi s'il est éventé c'est à dire stocké depuis trop longtemps, il faut encore rejeter tous ceux qui par l'humidité forment des mottes.

Celles-ci sont le résultat d'un début de prise qui jouera le rôle très néfaste dans le comportement futur du mortier [51].

### **I.5.2.2. 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 [50].

Sachant qu'un sable est convenable lorsque la grosseur des grains est comprise entre 0,5 et 2 mm ; Cependant pour des travaux de maçonnerie, on emploie souvent des sables tamisés avec des mailles de 5 à 6 mm ; pour des travaux de briquetage ou d'enduits, le sable est plus fin. Il est à signaler que l'introduction du sable dans un mortier joue un rôle important :

- Il divise la masse du liant pour permettre la prise (liant aérien).
- Il abaisse le prix de revient du mortier.
- Il diminue le retrait et ses conséquences (les fissurations) du fait que le sable est incompressible que le retrait se trouve amoindri [51].

### **I.5.2.3. L'eau :**

Le choix de l'eau de gâchage a aussi une grande importance, son rôle est primordiale puisqu'il consiste à provoquer la prise du liant mélangé au sable.

#### **a - Qualités :**

Elle doit être aussi pure que possible. On peut employer sans danger l'eau potable. De toutes façons, elle ne doit pas contenir de matière organiques ou terreuses, ni de déchets industriels de toutes natures (rejeter les eaux acides, les eaux séléniteuses contenant du plâtre, les eaux croupissantes). Les avis différents sur l'emploi de l'eau de mer, elle est à éviter s'il s'agit de liant à forte teneur en chaux libre. Par contre, certains liants résistant bien aux eaux de mer tels que les ciments à base de laitier, ciments alumineux, ciments sursulfatés et ciments silicieux.

#### **b - Quantité :**

La quantité d'eau de gâchage est variable, elle dépend :

- de la granulométrie du sable employé et de son degré d'humidité.
- du dosage du mortier.
- du travail à exécuter.
- de la nature du mortier mise en œuvre.
- de la température ambiante et des matériaux.

Il n'est pas possible de déterminer avec exactitude la quantité d'eau nécessaire à la fabrication d'un mortier ; il ne faut pas dépasser la quantité nécessaire à l'obtention d'une pâte plastique après un bon malaxage.

L'excès d'eau est toujours nuisible, il diminue la résistance finale du mortier. Dans le cas d'emploi d'un mortier mou, il convient d'augmenter le dosage pour obtenir la même résistance, sauf pour les ciments alumineux pour lesquels cet excès est moins nuisible.

Les mortiers de chaux demandent en général plus d'eau que les mortiers de ciment de même les mortiers composé de sable fin exige plus d'eau que ceux composés de sable moyen ou gras [51].

### **I.5.3. Caractéristiques et propriétés des mortiers**

#### **1- Résistance à l'écrasement :**

Elle dépend du liant employé, du dosage, des qualités des composants, de la fabrication même du mortier et de la mise en œuvre de celui-ci.

#### **2- L'adhérence au matériau mis en œuvre :**

Un mortier maigre est beaucoup moins adhérent qu'un mortier moyen ou gras ; il est facile de s'en rendre compte à la seule vue du mortier celui-ci n'a aucun pouvoir adhérent si les grains de sable ne sont pas enveloppés de liant.

Pour obtenir une parfaite adhérence il convient d'employer un mortier ferme avec des matériaux humides.

#### **3- Imperméabilité :**

Elle est fonction du liant employé et du dosage. Un mortier contenant moins de liant qu'il ne convient pour remplir des vides du sable ne peut pas être imperméable .Par contre un mortier trop riche se rétracte et se fissure laissant de cette façon passer le fluide.

Donc l'imperméabilité d'un mortier dépend de la capacité du sable employé et du dosage du liant, il est parfois nécessaire d'adjoindre des produits imperméabilisants appelés hydrofuges.

#### 4- Retrait :

Pendant leur prise, puis leur durcissement, les mortiers de ciment subissent un certain raccourcissement de leurs dimensions c'est ce qu'on appelle le retrait.

L'importance du retrait est en rapport avec :

- ✓ Le dosage :

Un dosage excessif (mortier trop gras) accentue le retrait et de là, la fissuration.

- ✓ La quantité d'eau de gâchage :

Celle-ci joue un très grand rôle dans la qualité d'un mortier.

- ✓ La qualité du liant :

Un super ciment fait un retrait plus important qu'un liant dont la résistance mécanique est de 160 à 250 bars c'est une erreur de renoncer à certains liants au profit de ceux dont la haute résistance mécanique n'est pas liée aux contraintes que subiront les ouvrages.

- ✓ La production du mortier :

Celui-ci doit être mélangé de façon parfaite afin d'obtenir une pâte homogène.

- ✓ Les précautions après la mise en œuvre :

S'il s'agit de travaux effectués pendant l'été, une déshydratation trop rapide produit un retrait trop brutal et diminue la résistance du mortier, on doit alors le recouvrir et l'humidifier [51].

### **I.5.3. Différents types de mortiers**

Les mortiers se partagent en fonction du type de liant et en fonction de l'usage [52]:

#### **I.5.3.1. Les différents mortiers en fonction de liant**

Les mortiers les plus fréquemment utilisés sur les chantiers sont (voir figure I.14) :

- Les mortiers de ciment :

Le mortier-ciment est le produit le plus basique qui soit, indispensable pour construire un mur et lier les pierres ou briques entre elles. Il s'agit d'un mélange classique de ciment, de sable et d'eau.

Le mortier de ciment est très résistant et étanche à l'eau mais sujet à la fissuration. Les dosages courants sont de l'ordre de : 300 à 400 kg de ciment pour 1 m<sup>3</sup> de sable.

➤ Les mortiers de chaux :

C'est un type de mortier où la chaux (chaux grasse ou chaux hydraulique) est utilisée comme liant et le sable est utilisé comme granulats fin. Ce mélange est couramment utilisé pour enduire les murs intérieurs et extérieurs.

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique. Il a de la souplesse mais il a moins d'imperméabilité que le ciment.

➤ Les mortiers bâtards :

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Le ciment lui procure de la résistance, tandis que la chaux lui apporte de la souplesse. L'usage de ces deux liants donne un mortier résistant, une prise plus rapide grâce au ciment, suffisamment gras et onctueux grâce à la chaux. Le tout lui procure une facilité de prise en main. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales ; mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

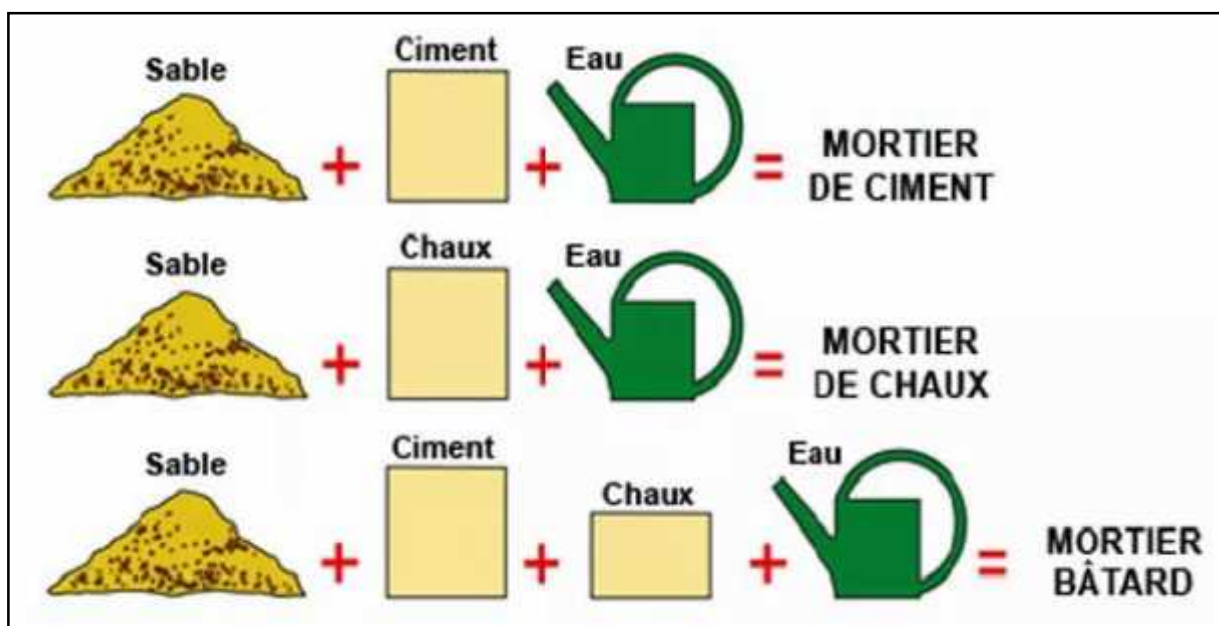


Figure I.14 : Types de mortiers en fonction de liant

### I.5.3.2 .Les différents mortiers en fonction de l'usage

➤ Le mortier hydrofuge

Le mortier hydrofuge est un mortier résistant à l'eau, qui permet d'éviter les problèmes d'humidité sur une surface. Il permet de :

- Boucher des fissures,
- Enduire un mur,
- Réaliser des chapes.

On l'utilise avant tout dans les lieux humides (salle de bain, extérieur, etc.) ou encore pour concevoir des réalisations étanches, comme un bassin de piscine.

➤ Le mortier réfractaire

Le mortier réfractaire est un mortier résistant aux hautes températures. Selon les préparations, il peut généralement résister à des températures de 900° ou moins.

Il est uniquement utilisé pour les constructions qui sont exposées à ce type de températures, à savoir pour le montage et le jointement des :

- Foyers de cheminée,
- Des barbecues maçonnés.

Ce matériau protège ainsi les joints et la structure des constructions exposées aux flammes et à la chaleur.

➤ Le mortier-colle (ciment-colle)

Le mortier colle regroupe la famille des mortiers adhésifs destinés à coller un revêtement comme : le carrelage, le dallage et certains blocs de maçonnerie. Ce matériau est utilisé pour coller un revêtement sur les murs intérieurs et extérieurs, ou encore les sols intérieurs et extérieurs [53].

### I.5.3.2 .Types de mortiers en fonction de dosage de liant [52]

➤ Mortier normal :

C'est un mortier qui contient en volume une partie de liant pour trois parties de sable normal. Avec ces proportions le liant remplit les vide du sable, c'est à dire que  $1\text{m}^3$  de sable plus  $1/3$  de  $\text{m}^3$  de liant ne fournit qu'un  $\text{m}^3$  de mortier.

$$1 \text{ m}^3 \text{ de sable} + 1/3 \text{ liant (m3)} = 1 \text{ m}^3 \text{ de mortier.}$$

➤ Mortier maigre :

Le volume de liant est inférieur au volume des vides.

$$1 \text{ m}^3 \text{ de sable} + 1/4 \text{ liant (m}^3) < 1 \text{ m}^3 \text{ de mortier.}$$

➤ Mortier gras :

Le volume de liant est supérieur au volume des vides.

$$\text{Volume de mortier} > 1 \text{ volume de sable}$$

### I.5.4. Préparation des mortiers [51]

#### I.5.4.1 .Préparation 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 Remuer vivement en divers sens à l'aide d'une pelle.

Sachant que le mélange à sec doit être fait soigneusement pour que le liant soit parfaitement réparti dans toute la masse. Ainsi que l'eau doit être versée en plusieurs fois pour obtenir un mélange de qualité (voir figure I.15).



Figure I.15 : Préparation manuelle du mortier

**N B :** Le mortier est correctement humidifié lorsqu'on passe le plat de la pelle dessus, il se lisse et l'eau remonte en surface

#### I.5.4.2 .Préparation 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 le tambour 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 (voir figure I.16).



Figure I.16 : Préparation mécanique du mortier

#### I.5.5. Rôle essentiel du mortier [54] :

- Il est indispensable à presque tous les travaux de maçonnerie, notamment pour monter un mur de brique ou de pierres, pour lequel il jouera le rôle essentiel de colle.
- Il permet de solidariser les éléments entre eux.
- Il assure la cohésion et la bonne répartition des charges du mur.

- Il remplit chacun des espaces entre les matériaux.
- Il permet de réaliser des ensembles cohérents à la solidité variable selon le type de mortier employé.
- il peut aussi être utilisé comme enduit ou élément de scellement lors de réparations, contribuant à l'esthétique et à l'imperméabilité du mur de maçonnerie.
- Il protège les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.

### **I.5.6. Conclusion**

Dans ce cinquième point de ce chapitre, nous avons mentionné que les mortiers sont des éléments principaux de la construction, puis nous avons passé en revue les types de mortiers en termes de composants, de propriétés et de dosages selon le liant choisi, et enfin les modes de préparation, qu'ils soient manuels ou mécaniques.

### **Conclusion du chapitre**

Dans ce chapitre, et selon la recherche bibliographique nous avons montré l'importance des matériaux composites qui ont fait leurs preuves dans de différents domaines (aviation, transport, industrie civile et militaire, industries agricoles et médicales, constructions etc.). C'est pour cela que ces matériaux sont de plus en plus demandés, notamment dans le domaine de la construction. À noter que l'incorporation de fibres végétales comme renforts dans les matériaux composites (béton et d'autres matériaux cimentaires) est une contribution importante à la préservation de l'environnement, y compris la santé humaine, du fait de leur disponibilité naturelle à travers le monde ainsi que leurs faibles coûts. En général le rôle principal des fibres végétales dans le béton et les différents types de mortiers c'est d'améliorer leurs comportements mécaniques (résistance et rigidité) et de réduire l'extension des fissures. Sachant que le ciment est l'élément essentiel qui intervient dans la composition de mortier et du béton, et selon la bibliographie ce matériau joue le rôle de liant au contact de l'eau où il forme une pâte plastique liante qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

Dans ce dernier point de ce chapitre la recherche théorique nous a permis d'acquérir beaucoup de connaissances concernant les mortiers qui sont indispensables à toute construction, ils sont utiles pour lier des briques ou des pierres entre elles, effectuer l'enduit d'un mur et sceller des éléments etc. Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant (ciment ou chaux) toujours mélangé avec du sable et de l'eau, manuellement ou mécaniquement, et dans des conditions contrôlées. Enfin il est important d'être bien informés sur le choix des matériaux de construction pour garantir une qualité meilleure.

## **CHAPITRE II : Matériaux et méthodes**

## II.1. Introduction

Le mortier de fibres végétales est un matériau composite qui contient deux matériaux hétérogènes, le mortier et la fibre végétale (**Diss**). La qualité du mortier fibré dépend de plusieurs facteurs à savoir : la composition du mortier, la concentration en fibres, la longueur des fibres, Dans ce chapitre, nous décrivons les matériaux et les méthodes de travail utilisées au niveau du laboratoire, en préparant des éprouvettes à l'expérimentation afin d'élaborer un composite renforcé de fibres de Diss, et évaluation de son comportement mécanique (Résistance).

## II.2. Matériaux utilisés

### II.2.1. Fibre de Diss

Le matériau utilisé dans notre travail est le « **Diss** », a été cueilli dans la région de Ain Mimoun – Elhamma, est connu sous le nom scientifique (*ampélodesmos mauritanicus*), il appartient à la famille des Poacées (graminées), répandu dans l'Afrique-du-Nord méditerranéenne et les régions sèches de la Grèce à l'Espagne (figure II.1). Sachant qu'en Algérie cette espèce végétale existe à l'état sauvage en quantité importante sur le pourtour méditerranéen algérien et s'étend jusqu'aux montagnes de l'Atlas saharien (Aurès). Cette plante servait auparavant à couvrir les habitations anciennes de la campagne algérienne en raison de ses qualités mécaniques et hydriques [55] (figure II.2). C'est une plante arbustive qui peut atteindre en moyenne 80 cm. Elle pousse sous forme de touffe. Son système racinaire est puissant. C'est une plante rhizomateuse. Ses feuilles sont acuminées (feuille dont l'extrémité a la forme d'une pointe). L'inflorescence est une panicule. Elle a quelques aspects utilitaires dans la confection des nattes et des couffins [56]. On outre la fibre de Diss présente une résistance à la traction de l'ordre de 100 MPa, une masse volumique de 850 kg/m<sup>3</sup> et une structure épineuse, pouvant offrir une forte adhésion à la pâte cimentaire. Le module d'élasticité des fibres de Diss est de 2,17 GPa. Les fibres contiennent 30% de cellulose et 11% d'hémicellulose [58].



Figure II.1 : Plante de **Diss** à l'état naturel (inflorescence en grappes)

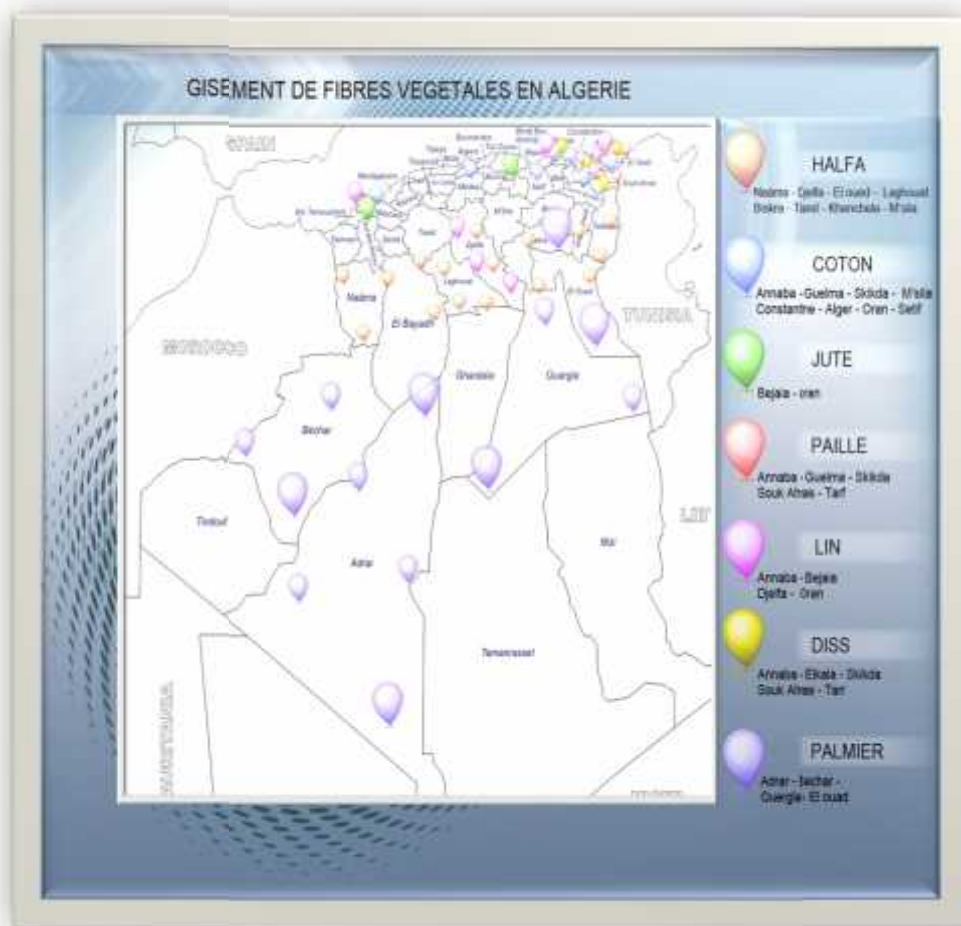


Figure II.2 : Gisement de fibres végétales (**Diss**) en Algérie [57].

**NB :** La plante de Diss ne s'arrache pas à main nue, mais à la faucille à cause de son tranchant.

### II.2.2. Ciment

Le ciment utilisé de type Portland composé CEM II/A de classe 42.5 provenant de la cimenterie de Biskra, CEM II/A 42.5 conformément à la norme Algérienne (NA442-2013) (figure II.3). Ce produit convient surtout pour les préparations : Béton armé et non armé, Mortier de briquetage et Mortier de finitions. Sachant qu'il doit être stocké dans un endroit aéré, sec et non humide.

- **Caractéristiques Techniques :** Elles sont portées sur le tableau suivant [59]:

<b>Analyses chimiques (%)</b>	<b>Valeur</b>
Perte au feu	6 – 8
Teneur en sulfates (SO <sub>3</sub> )	2.5 – 2.9
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)	< 3.5
Teneur en Chlorures (Cl <sup>-</sup> )	< 0.08
Résidu insoluble	NA
<b>Composition Potentielle du Clinker (%) (Selon Bogue)</b>	<b>Valeur</b>
C3S	60 – 65
C3A	6 – 10
<b>Propriétés physiques</b>	<b>valeur</b>
Consistance normale (%)	25.4 – 26
Expansion à chaud (mm)	< 1 mm
<b>Temps de prise (min)</b>	<b>valeur</b>
Début de prise	150 min
Fin de prise	260 min
<b>Résistance à la compression</b>	<b>valeur</b>
2 jours (MPa)	23 – 26
28 jours (MPa)	45 – 50

Tableau N° 1 : Caractéristiques Techniques du ciment de type Portland, cimenterie de Biskra



Figure II.3 : Sac de Ciment Portland (CEM II, 42.5 R) de la cimenterie de Biskra

### II.2.3. Sable

Le sable est largement utilisé dans le domaine de la construction. Il est constitué de grains plus ou moins fins, dont la dimension varie de 0,15 mm à 4,76 mm. En fonction de la taille des grains, on parle de sable fin, de gros sable ou de sable graveleux. Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, augmente l'ouvrabilité du mortier en le rendant plus dense. Un sable est jugé de bonne qualité s'il remplit certaines conditions. Tout d'abord, il ne doit pas renfermer plus de 3 % d'impuretés (limons, produits industriels nocifs, poussière etc.). Ensuite, il doit être composé de grains de taille et de dimensions différentes, de manière à remplir les vides laissés entre les divers types de granulats [60]. Le sable utilisé dans notre recherche, provient de la Carrière ouled salah, Tlaghma, Mila (figure II.4).



Figure II.4 : Sable de carrière prêt à l'emploi

★ Il convient de noter que l'analyse et le contrôle du sable de construction est important pour assurer une bonne qualité de produit. et cela grâce à diverses opérations parmi celles-ci :

➤ Analyse granulométrique par Tamisage

Elle consiste à séparer et classer les grains de sable selon leur diamètre à l'aide d'une série de tamis emboîtés les un dans les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas (voir figure II.5). Donc l'analyse granulométrique permet d'apporter des renseignements importants sur la taille des grains qui composent les sables et leurs influences sur les produits finis (béton, mortier) surtout en termes de résistance, d'étanchéité et de durabilité. D'après les chercheurs, les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile [61].



a) tamis emboîtés les un dans les autres

b) tamis vibrant pour sable

Figure II.5 : Série de tamis pour l'analyse granulométrique d'un sable.

➤ Equivalent de sable

L'équivalent de sable est un indicateur, caractérisant la propreté d'un sable. Il indique la teneur en éléments fins, d'origine essentiellement argileuse, végétale ou organique à la surface des grains [62].

Le tableau suivant montre les valeurs de l'équivalent de sable selon l'essai qui est défini par la norme NF P18-598[63].

ES à vue (E.S.V)	ES au piston (E.S.P)	Nature et qualité de sable
ES < 65%	ES < 60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité.
65% ES 75 %	60% ES 70%	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
75% ES 85%	70% ES 80 %	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES 85 %	ES 80%	Sable très propre : l'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

Tableau N° 2 : Les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable

**N B :** Le sable de carrière est soit retiré du sol en masse, soit fabriqué à partir de roches extraites en carrière.

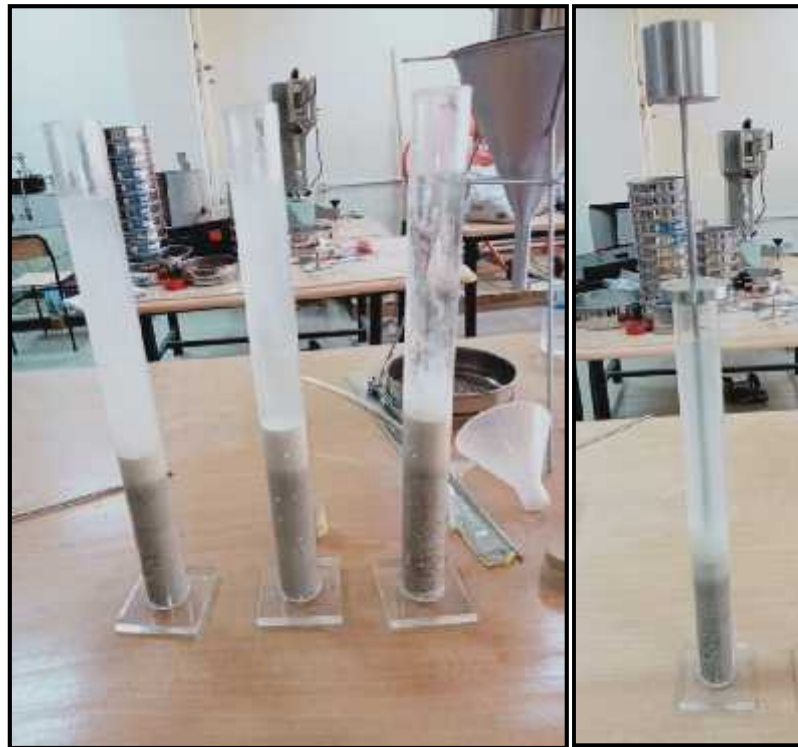


Figure II.6 : L'essai d'équivalent de sable.



Figure II.7 : Agitateur électrique pour équivalent de sable

### II.2.4. Eau de gâchage

L'eau utilisée dans ce travail est une eau distillée du laboratoire. Il est à signaler que pour le gâchage de béton ou de mortier on utilise de l'eau qui ne doit pas contenir des composés chimiques ou des particules en suspensions qui pourront agir négativement sur la qualité du matériau obtenu. Les caractéristiques physico-chimiques et organiques de l'eau de gâchage sont présentées dans le tableau ci dessous [64] :

Paramètres organiques	Quantités et qualités selon la norme AF P 18 303
Couleur	Clair
Odeur	Bonne
Gout	Bon
PH	7.94
Salinité (%)	9
CO2 libre (mg/l)	9.26
Oxygène dissous (mg/l)	5.47

Tableau N° 3 : Caractéristiques physico-chimiques et organiques de l'eau de gâchage.

## II.3. Méthodes expérimentales

### II.3.1. Préparation des fibres de Diss

#### II.3.1.1 Sélection des fibres

Les fibres doivent être de couleur (vert et vert claire), comme il faut se débarrasser des fibres pâles en raison de leur vieillesse et aussi celles qui contiennent des taches noires, ou marrons afin de limiter les sources de dispersion des résultats (voir figure II.8)

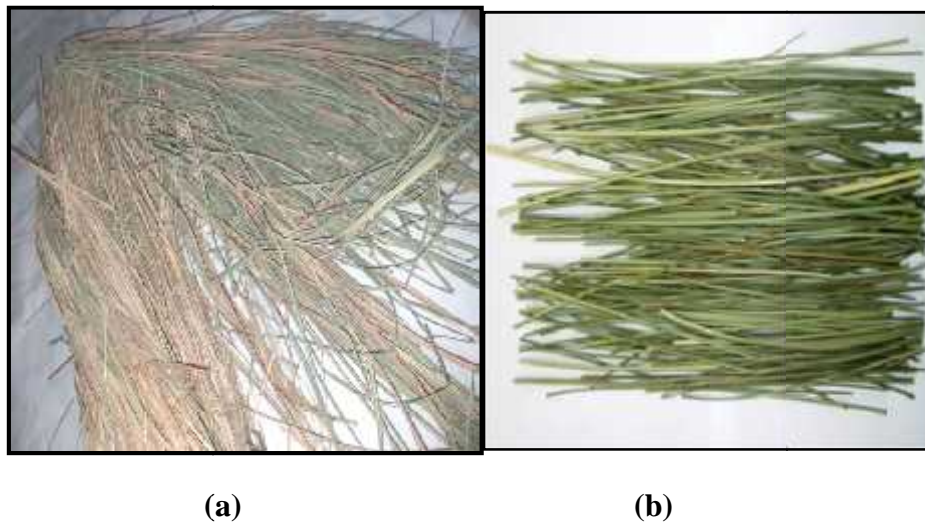


Figure II.8 : Fibres de Diss (a) brutes et (b) sélectionnées

#### II.3.1.2. Découpage des fibres

Les fibres de Diss sont découpées manuellement à l'aide d'une coupeuse de papier aux longueurs suivantes : 1cm, 2cm et 3cm. comme le montre la figure II.9



Figure II.9 : Fibres de Diss brutes découpées (1cm, 2cm et 3cm de longueur)

### II.3.1.3 .Lavage et séchage des fibres de Diss

Les fibres de Diss de longueur (1cm 2cm et 3cm) sont bien lavées à l'eau du robinet. Puis lavées une secondes fois avec de l'eau distillée pour éliminer toutes poussières et impuretés. Ensuite, elles sont séchées dans l'étuve à 60°C pendant 5h afin de garantir une teneur en humidité constante.

### II.3.1.4. Traitement des fibres avec de l'hydroxyde de sodium (NaOH)

On pose dans un récipient 1litre d'eau distillée et on verse 80g de l'hydroxyde de sodium (NaOH) puis on agite jusqu'à dissolution complète .Ensuite on ajoute des fibres de Diss découpées à 1cm de longueur. De la même façon pour les fibres à 2cm et à 3cm de longueur .Les fibres sont laissées dans la solution pendant 24heures. Après cette période (24h), les fibres sont lavées à l'eau du robinet et distillée pour enlever les dernières traces de soude qui restent collées à la surface des fibres. Enfin, elles sont séchées à l'étuve à 60°C pendant 5heures.voir figures (II.10, II.11, II12 et II13).



Figure **II.10** : Différents matériaux de traitement (fibres brutes de Diss découpées 1cm, 2cm et 3cm, tube d'eau distillée et flacon de l'hydroxyde de sodium)



a) Pesage de NaOH brute

b) H<sub>2</sub>O distillée

c) NaOH dans l'eau distillée

Figure II.11: Traitement des fibres de Diss avec (NaOH)



Figure II.12: Fibres de Diss découpées (1cm, 2cm et 3cm) immergées dans la solution NaOH



a) lavage des fibres traitées



b) séchage des fibres dans l'étuve à 60°C



c) Fibres de Diss placées dans une étuve de séchage à une température 60° C durant 5 heures

Figure II.13 : Lavage et séchage des fibres de Diss traitées par (NaOH)

### II.3.2. Préparation des éprouvettes

#### II.3.2.1. Eprouvette à base d'un mortier témoin (sans fibre)

La composition est la suivante : 1350 g de sable + 450g de ciment + 225g d'eau.

#### II.3.2.2 .Eprouvette à base d'un mortier avec fibres de Diss non traitées :

❖ Fibre de Diss non traitée de 1cm de longueur :

- 1337g de sable + 450g de ciment + 225g d'eau + 13g de Diss
- 1330.5g de sable +450g de ciment + 225g d'eau +19.5g de Diss
- 1324g de sable +450g de ciment + 225g d'eau +26g de Diss

❖ Fibre de Diss non traitée de 2cm de longueur :

- 1337g de sable + 450g de ciment + 225g d'eau + 13g de Diss
- 1330.5g de sable +450g de ciment + 225g d'eau +19.5g de Diss
- 1324g de sable +450g de ciment + 225g d'eau +26g de Diss

❖ Fibre de Diss non traitée de 3cm de longueur :

- 1337g de sable + 450g de ciment + 225g d'eau + 13g de Diss
- 1330.5g de sable +450g de ciment + 225g d'eau +19.5g de Diss
- 1324g de sable +450g de ciment + 225g d'eau +26g de Diss

#### II.3.2.3. Eprouvette à base d'un mortier avec fibres de Diss traitées par (NaOH) :

❖ Fibre de Diss traitée de 1cm de longueur :

- 1337g de sable + 450g de ciment + 225g d'eau + 13g de Diss
- 1330.5g de sable +450g de ciment + 225g d'eau +19.5g de Diss
- 1324g de sable +450g de ciment + 225g d'eau +26g de Diss

❖ Fibre de Diss traitée de 2cm de longueur :

- 1337g de sable + 450g de ciment + 225g d'eau + 13g de Diss
- 1330.5g de sable +450g de ciment + 225g d'eau +19.5g de Diss
- 1324g de sable +450g de ciment + 225g d'eau +26g de Diss

❖ Fibre de Diss traitée de 3cm de longueur :

- 1337g de sable + 450g de ciment + 225g d'eau + 13g de Diss
- 1330.5g de sable +450g de ciment + 225g d'eau +19.5g de Diss
- 1324g de sable +450g de ciment + 225g d'eau +26g de Diss

**Récapitulatif** : Le tableau suivant récapitule les étapes illustrées montrant la préparation des éprouvettes.

		
<p><b>a)</b> pesage de fibres de diss traitées par (NaOH)</p>	<p><b>b)</b> pesage du sable</p>	<p><b>c)</b> pesage de ciment</p>
		
<p><b>e)</b> fibres introduites parmi le mélange sable- ciment</p>	<p><b>d)</b> malaxage jusqu'à obtention d'un mélange homogène</p>	<p><b>f)</b> Moule métallique (4 x 4 x 16) cm</p>
		
<p><b>g)</b> remplissage du moule avec le mélange de mortier</p>	<p><b>h)</b> nivelage manuel du mélange dans le moule</p>	<p><b>i)</b> Le mélange mortier est dans sa forme finale</p>

Tableau N° 4 : tableau récapitulatif illustrant la confection des éprouvettes

### II.3.3. Mode de conservation des éprouvettes

Après séchage des éprouvettes, celles-ci sont démoulées puis numérotées ensuite placées dans une cuve d'eau à température constante pour se durcir jusqu'à la date de l'essai auquel elles seront soumises (voir figure II.14).



Figure II.14 : Conservation des éprouvettes dans une cuve d'eau.

### II.3.4. Essais mécaniques sur éprouvettes de mortier

Le contrôle de qualité sur un mortier durci consiste à déterminer la résistance du mortier au cours du temps, notamment, à 7 jours ou à 28 jours. Les tests mécaniques (flexion et compression) sur les éprouvettes de mortier sont réalisés dans le laboratoire. Sachant que la résistance du mortier est exprimée en mégapascal (MPa).

#### II.3.4.1. Essai de flexion

L'essai de flexion est un essai mécanique qui consiste à faire fléchir le plus possible, à l'aide d'une charge, le matériel posé sur des appuis (cas d'éprouvettes de mortier disposées dans la machine d'essai comme l'indique la figure II.15), afin d'en étudier sa capacité de résistance à une masse ou à un choc [65].



Figure II.15 : Essai de flexion sur éprouvette (4x4x16) cm.

### II.3.4.2. Essai de compression

Les essais de compression servent à déterminer le comportement du matériau sous une contrainte de compression uniformément croissante. L'éprouvette de compression (forme cylindrique, cubique) est comprimée jusqu'à la rupture, la fissure ou écrasée jusqu'à un degré déterminé, voir figure II.16 [66].



a) Essai de compression sur cylindre



b) Essai de compression sur cube

Figure II.16: Compression des éprouvettes

**II.4. Conclusion**

Ce chapitre nous a permis de présenter les différents matériaux utilisés dans cette étude, à savoir les fibres de Diss, le ciment et le sable en plus de l'eau de gâchage.

Nous avons détaillé les différentes étapes de préparation de la méthode expérimentale. Cela nous permettrait de mieux comprendre la manière de déterminer les propriétés du mortier renforcé de fibres végétales (le Diss).

## **CHAPITRE III : Résultats et discussions**

### **III.1. Introduction**

Ce chapitre a pour objectif d'analyser et d'interpréter les résultats de différents essais réalisés sur différents types de mortiers de forme (4 x 4 x 16) cm et (4 x 4x 4) cm obtenus au cours de ce travail de mémoire ,qui sont renforcés de fibres de Diss traitées par NAOH et ceux qui n'ont pas été traités, qui seront comparés aux mortiers témoins de forme (4 x 4 x 16) cm et (4 x 4x 4) cm sans ajout de fibres de Diss. Puis une présentation des résultats d'essais réalisés à savoir l'équivalent de sable, l'analyse granulométrique ainsi que les résultats des essais de compression et de flexion trois points sur des éprouvettes à différentes formulations sont illustrés par Diagramme en bâtons afin de faire des comparaisons entre les différents résultats.

### **III.2. Description des essais réalisés au laboratoire**

#### **III.2.1. Analyse granulométrique**

La granulométrie permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un granulat. Il consiste à tamiser le granulat (sable) sur une série de tamis dont les dimensions des mailles sont prédéfinies dans les normes, elles sont décroissantes du haut vers le bas .On appellera alors le tamisât tout l'ensemble des grains qui passent à travers un tamis, et le refus l'ensemble des grains qui sont retenus sur le tamis.

La série des tamis (en mm) utilisée pour la réalisation granulométrique au cours de notre étude est la suivante : 3.15 - 2.5 - 1.4 -1.25 -1.18 - 0.80 - 0.60 - 0.50 - 0.315 -0.200 - 0.160 - 0.09 - 0.08.

Le matériau étudié : sable de carrière pour mortier provient de la région de Mila dont la pesée égale 2 kg.

Le tableau suivant représente l'analyse granulométrique de sable de carrière pour mortier.

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulés(g)	Refus cumulés(%)	Tamisât cumulé (%)
3.15	30.5	30.5	1.525	100
2.5	75.5	106	5.3	97.725
1.4	347.5	453.5	22.67	93.975
1.25	40.5	494	24.70	76.6
1.18	36	530	26.50	74.575
0.80	366	896	44.8	72.775
0.60	677	1573	78.65	54.475
0.50	64	1637	81.85	20.625
0.315	271.5	1908.5	95.42	17.425
0.200	42	1950.5	97.52	3.85
0.160	16	1966.5	98.32	1.75
0.09	16.5	1983	99.15	0.95
0.08	2.5	1985.5	99.27	0.125

Tableau N° 1 : analyse granulométrique de sable.

Les résultats de l'essai effectué pour le sable utilisé est présenté dans la Figure III.1

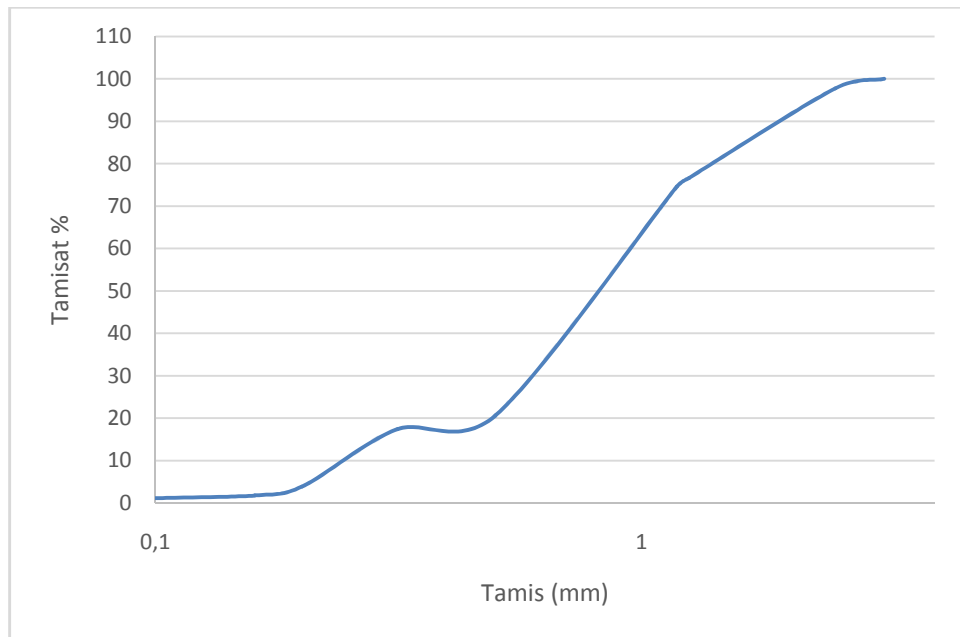


Figure III.1 : Courbe granulométrique du sable

★ **Module de finesse [67]:**

Le module de finesse d'un sable est égal au centième de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages pondéral sur les tamis. Le module est déterminé par la relation suivante :

$$\mathbf{Mf = Rc / 100}$$

Avec :

**Rc** : refus cumulé en (%).

Le Tableau suivant présente le classement de sable selon le module de finesse

Module de finesse	Qualité de sable
1. 80 Mf 2. 20	le sable est à majorité de grains fins
2. 20 Mf 2. 80	on est en présence d'un sable préférentiel
2. 80 Mf 3. 30	le sable est un peu grossier.

Tableau N° 2 : classement de sable [68].

Pour notre sable on calcule le module de finesse selon la relation suivante :

$$Mf = Rc / 100$$

$$Mf = 303.91/100 = 3.03$$

A la suite de ce résultat, nous concluons que le module de finesse varie entre 2.80 et 3.30 et selon le classement de sable présenté dans le tableau N° 2 ci-dessus. Il en résulte que notre sable est un peu grossier, il convient surtout pour la composition des mortiers lourds.

### III.2.2. Essai d'Equivalent de sable

Cet essai est utilisé pour évaluer la propreté du sable entrant dans la composition du mortier. L'essai consiste à séparer les éléments fins (impuretés argileuses) contenants dans le sable par rapport à la quantité des grains solide sableux.

#### III.2.2.1. Principe de l'essai :

On agite une quantité de sable dans une solution lavante dans un récipient tubulaire gradué, on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on en déduit l'équivalent de sable par les formules suivantes :

$$Esv = (h_2 / h_1) * 100$$

$$Esp = (h'_2 / h_1) * 100$$

Avec :

**ESP** : équivalent de sable mesuré au piston.

**ESV** : équivalent de sable visuel mesuré visuellement.

**h1** : hauteur du sable propre et élément fins.

**h2** : hauteur du sable propre seulement.

**h'2** : hauteur du sable propre seulement au piston.



Figure III.2 : Principe de l'essai d'équivalent de sable

**III.2.2.2. Calcul et interprétation des résultats :**✓ **Calcul:**

$$Esv = (h_2 / h_1) * 100$$

<b>ESV</b>	Hauteur totale <b>h<sub>1</sub></b> (cm)	Hauteur sable <b>h<sub>2</sub></b> cm	ES = % ( <b>h<sub>2</sub>/ h<sub>1</sub></b> ) *100	ES moyen %	Observation
Essai 1	<b>5.7</b>	<b>4.2</b>	<b>73.68</b>	<b>73.67</b>	<b>74</b>
Essai 2	<b>5.4</b>	<b>4.1</b>	<b>75.92</b>		
Essai 3	<b>5.6</b>	<b>4.0</b>	<b>71.42</b>		

$$Esp = (h'_2 / h_1) * 100$$

<b>ESP</b>	Hauteur <b>h<sub>1</sub></b> cm	Hauteur sable <b>h'<sub>2</sub></b> cm	ES =% ( <b>h'<sub>2</sub>/ h<sub>1</sub></b> ) *100	ES moyen %	Observation
Essai 1	<b>5.7</b>	<b>3.9</b>	<b>68.42</b>	<b>68.90</b>	<b>69</b>
Essai 2	<b>5.4</b>	<b>3.9</b>	<b>72.22</b>		
Essai 3	<b>5.6</b>	<b>3.7</b>	<b>66.07</b>		

✓ **Interprétation:**

D'après les résultats des essais de l'équivalent de sable effectués, nous pouvons classer notre sable à partir de ces deux valeurs obtenues (**Esv =74**, **Esp = 69**), qui sont comprises entre les deux intervalles théorique des valeurs préconisées pour l'équivalent de sable comme l'indique le tableau (voir chapitre II. Equivalent de sable).

65%	<b>Esv</b>	75%	→	65%	<b>74</b>	75%
60%	<b>Esp</b>	70%	→	60%	<b>69</b>	70%

Ainsi notre sable est légèrement argileux de propreté admissible pour des bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.

### III.2.3. Caractérisation physique

#### III.2.3.1. Effet de la teneur en fibres sur masse volumique

(%)	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> ) MFNT	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> ) MFT
0%	2,2968	2,2968
1%	2,2734	2,2978
2%	2,2148	2,2375
3%	2,1054	2,1293

Tableau N° 3 : Les masses volumique des différentes formulations en fonction de la teneur en fibres de Diss de longueur 1cm

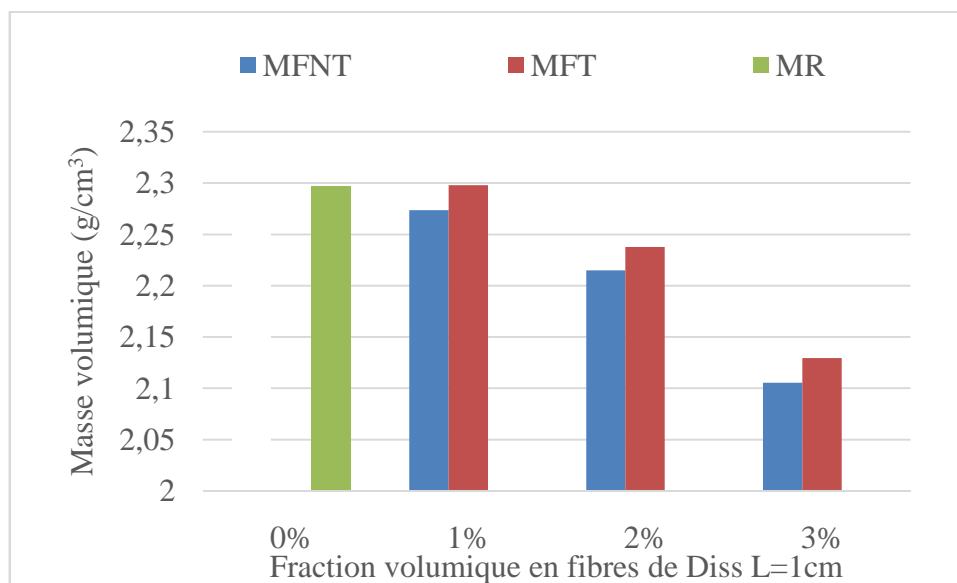


Figure III.3 : Variation des masses volumiques en fonction de la teneur en fibres de Diss

La figure III.3 représente la variation de la masse volumique du mortier en fonction de la teneur en fibres de Diss. On constate que La masse volumique du mortier diminue en fonction des taux d'introduction des pourcentages des fibres végétales de Diss.

### III.2.4. Caractérisation mécanique

#### III.2.4.1. Essai de Compression

##### III.2.4.1.1 .Effet de la teneur en fibres de Diss

Fraction volumique L=1cm	Résistance en compression (Mpa)	
	MFNT	MFT
0%	40,2886	40,2886
1%	34,4431	39,9854
2%	31,8997	37,4581
3%	23,4536	31,5982

Tableau N° 4 : Résistance en compression des différentes formulations pour une longueur des fibres de 1 cm

Fraction volumique L=2cm	Résistance en compression (Mpa)	
	MFNT	MFT
0%	40,2886	40,2886
1%	33,8769	39,1652
2%	30,7895	35,3629
3%	20,4536	32,4751

Tableau N° 5 : Résistance en compression des différentes formulations pour une longueur des fibres de 2 cm

Fraction volumique 3cm	Résistance en compression (Mpa)	
	MFNT	MFT
0%	40,2886	40,2886
1%	32,4875	36,3276
2%	23,971	34,7634
3%	19,1928	33,3421

Tableau N° 6 : Résistance en compression des différentes formulations pour une longueur des fibres de 3 cm

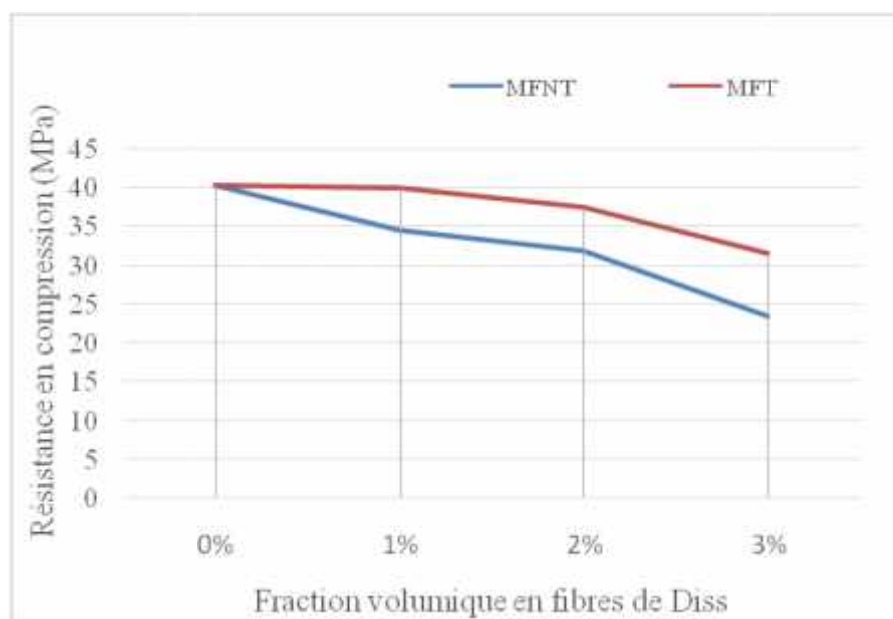


Figure III.4 : Evolution des résistances en compression en fonction de la teneur en fibres de Diss de 1cm de longueur

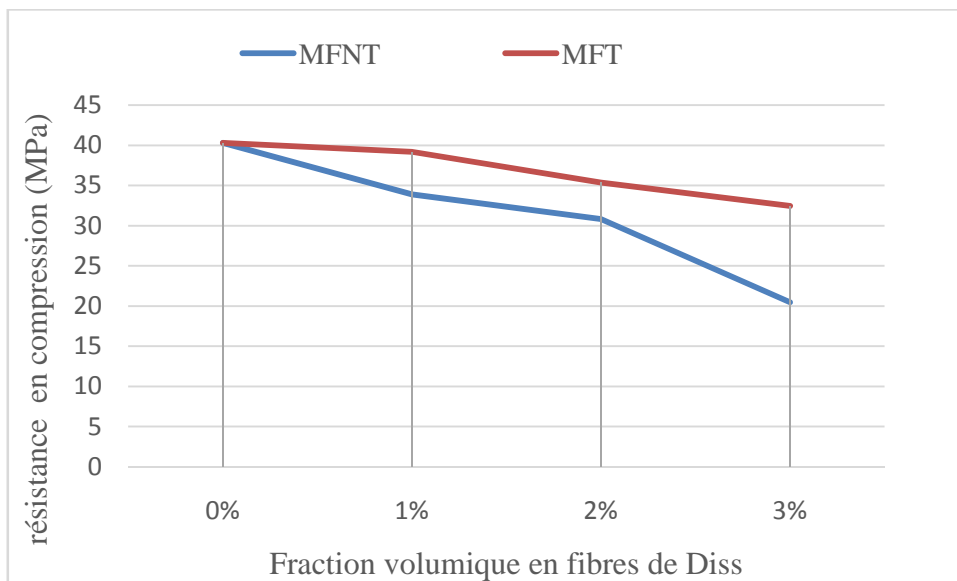


Figure III.5 : Evolution des résistances en compression en fonction de la teneur en fibres de Diss de 2cm de longueur

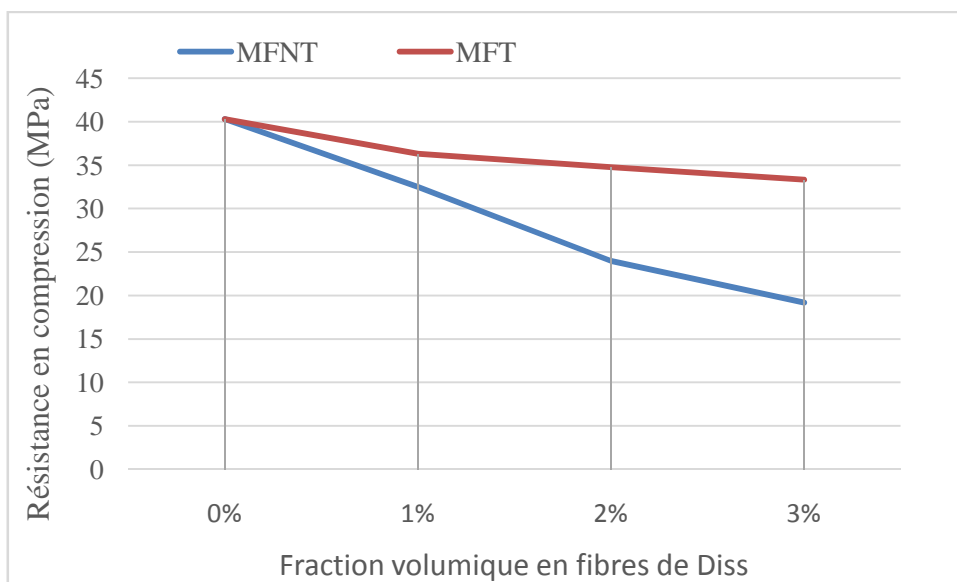


Figure III.6 : Evolution des résistances compression en fonction de la teneur en fibres de Diss de 3cm de longueur

**III.2.4.1.2 .Effet de la longueur des fibres**

Longueur des fibres pour une teneur de 1%	Résistance en compression (Mpa)	
	MFNT	MFT
MR	40,2886	40,2886
1cm	34,4431	39,9854
2cm	33,8769	39,1652
3cm	32,4875	36,3276

Tableau N° 7 : Résistance en compression des différentes formulations pour une teneur en fibres de  
Diss de 1%

Longueur des fibres pour une teneur de 2%	Résistance en compression (Mpa)	
	MFNT	MFT
MR	40,2886	40,2886
1cm	31,8997	37,4581
2cm	30,7895	35,3629
3cm	23,9711	34,7634

Tableau N° 8 : Résistance en compression des différentes formulations pour une teneur en fibres de  
Diss de 2%

Longueur des fibres pour une teneur de 3%	Résistance en compression (Mpa)	
	MFNT	MFT
MR	40,2886	40,2886
1cm	23,4536	31,5982
2cm	20,4536	32,4751
3cm	19,1928	33,3421

Tableau N° 9 : Résistance en compression des différentes formulations pour une teneur en fibres de  
Diss de 3%

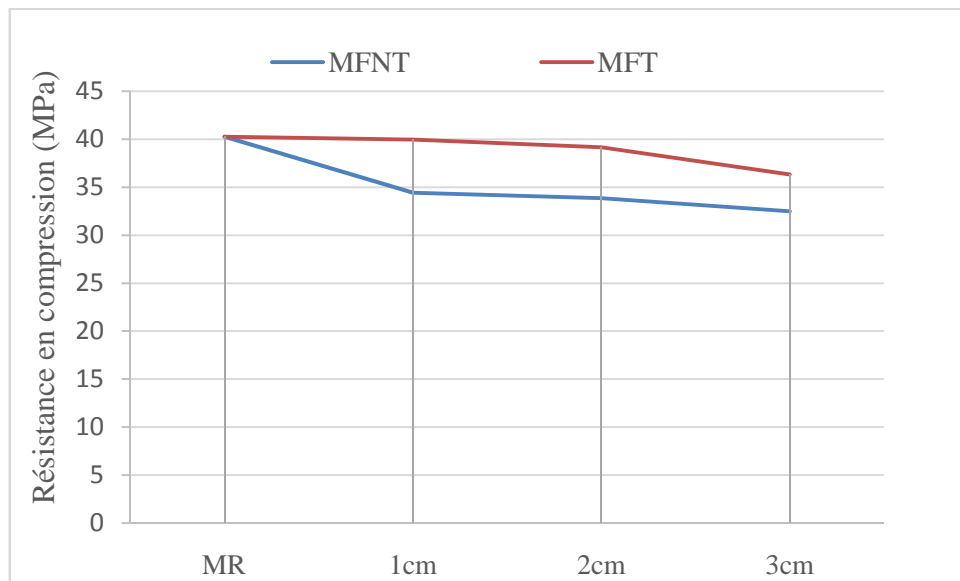


Figure III.7 : Evolution des résistances en compression en fonction de la longueur des fibres de Diss pour une teneur en fibres de Diss de 1%

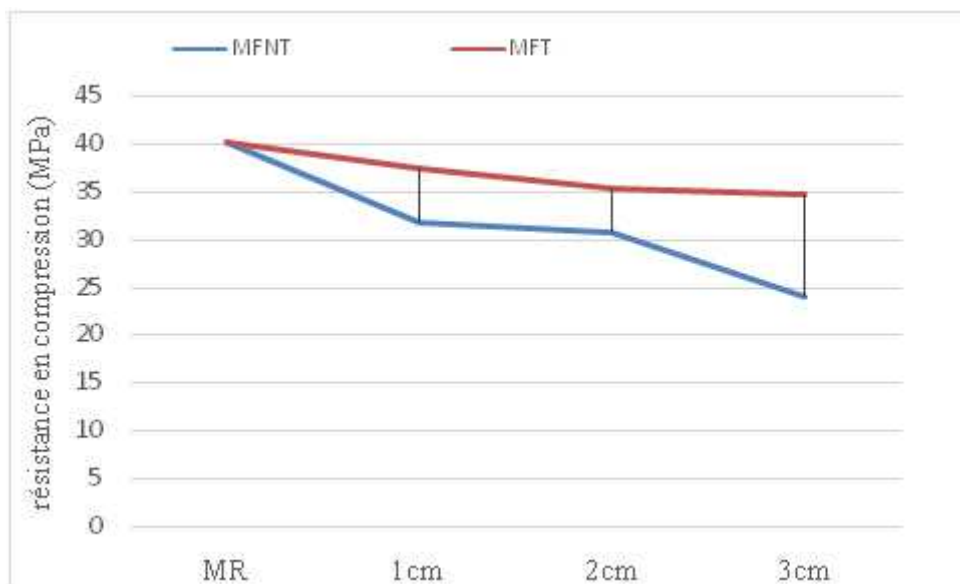


Figure III.8 : Evolution des résistances en compression en fonction de la longueur des fibres de Diss pour une teneur en fibres de Diss de 2%

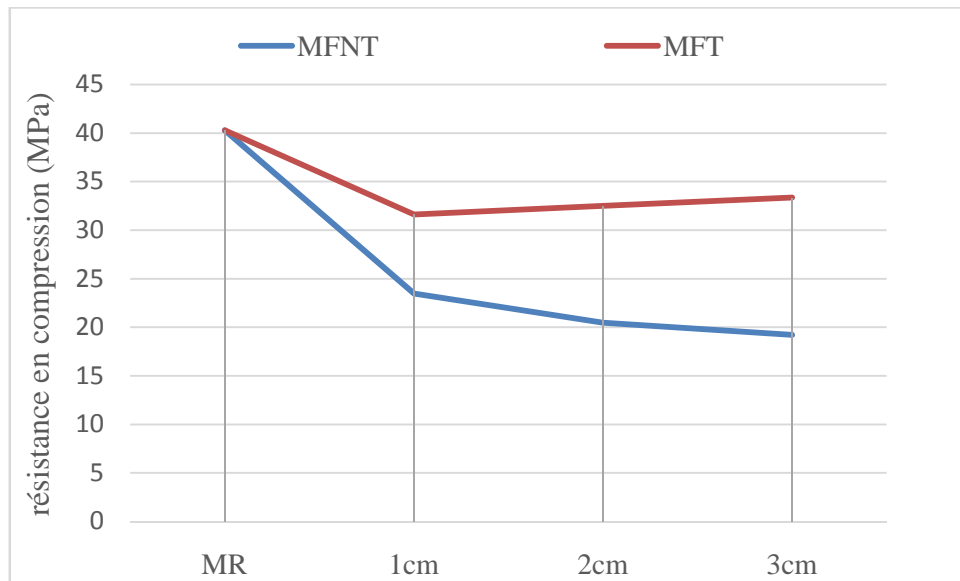


Figure III.9 : Evolution des résistances en compression en fonction de la longueur des fibres de Diss pour une teneur en fibres de Diss de 3%

### III.2.4.2. Essai de flexion trois points

#### III.2.4.2.1. Effet de la teneur en fibres

Fraction volumique L=1cm	Résistance en flexion (Mpa)	
	MFNT	MFT
0%	7,1484	7,1484
1%	7,9687	8,2523
2%	6,6304	6,7664
3%	6,0023	6,0914

Tableau N° 10 : Résistance en flexion des différentes formulations pour une longueur des fibres de 1 cm

Fraction volumique L= 2cm	Résistance en flexion (Mpa)	
	MFNT	MFT
0%	7,1484	7,1489
1%	7,3687	7,7087
2%	6,3539	6,4546
3%	5,6390	5,8921

Tableau N° 11 : Résistance en flexion des différentes formulations pour une longueur des fibres de 2 cm

Fraction volumique L=3cm	Résistance en flexion (Mpa)	
	MFNT	MFT
0%	7,1484	7,1484
1%	6,8015	6,8320
2%	5,8242	5,8710
3%	4,9335	5,1046

Tableau N° 12 : Résistance en flexion des différentes formulations pour une longueur des fibres de 3 cm

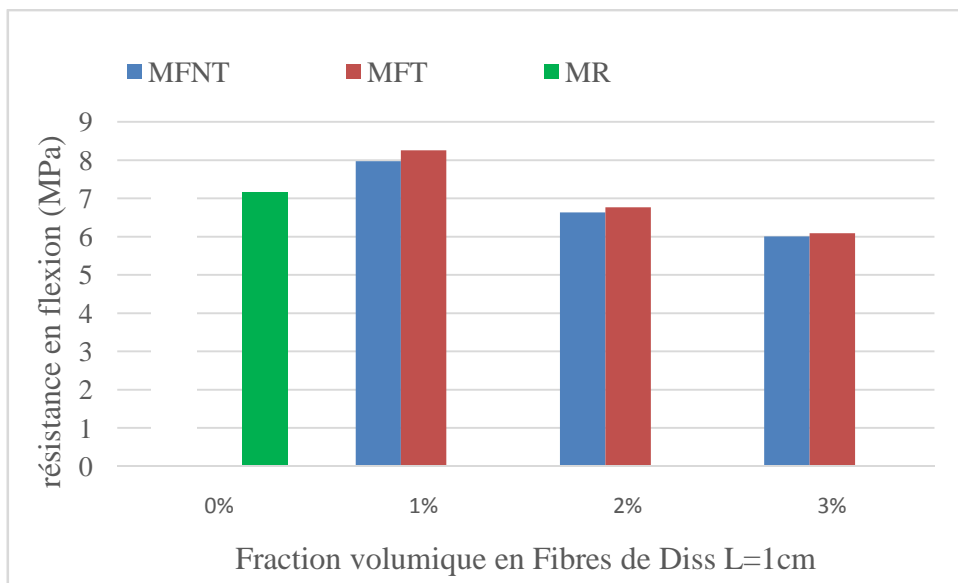


Figure III.10 : Evolution des résistances en flexion en fonction de la teneur en fibres de Diss de 1cm de longueur

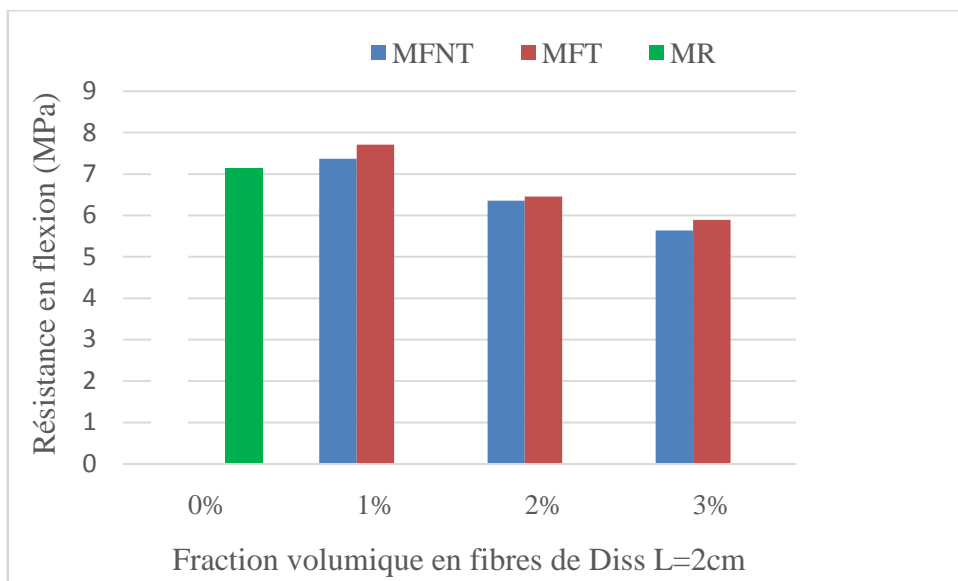


Figure III.11 : Evolution des résistances à la flexion en fonction de la teneur en fibres de Diss de 2cm de longueur

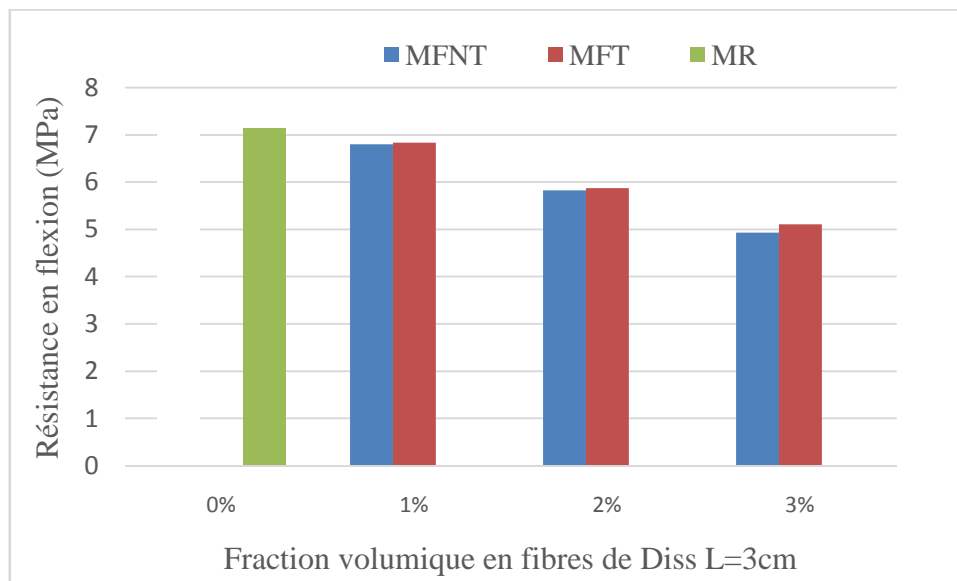


Figure III.12 : Evolution des contraintes à la flexion en fonction de la teneur en fibres de Diss de 3cm de longueur

#### III.2.4.2.2. Effet de la longueur des fibres

Nature du mortier pour une fraction de 1%	Résistance en flexion (Mpa)	
	MFNT	MFT
MR	7,1484	7,1484
M(1cm)	7,9687	8,2523
M(2cm)	7,3687	7,7087
M(3cm)	6,8015	6,8320

Tableau N° 13 : Résistance en flexion des différentes formulations pour une teneur en fibres de Diss de 1%

Nature du mortier pour une fraction de 2%	Résistance en flexion (Mpa)	
	MFNT	MFT
MR	7,1484	7,1484
M(1cm)	6,630	6,7664
M(2cm)	6,3539	6,4546
M(3cm)	5,8242	5,8710

Tableau N° 14 : Résistance en compression des différentes formulations pour une teneur en fibres de Diss de 2%

Nature du mortier pour une fraction de 3%	Résistance en flexion (Mpa)	
	MFNT	MFT
MR	7,1484	7,1484375
M(1cm)	6,0023	6,0914
M(2cm)	5,6390	5,8921
M(3cm)	4,9336	5,1046

Tableau N° 15 : Résistance en compression des différentes formulations pour une teneur en fibres de Diss de 3%

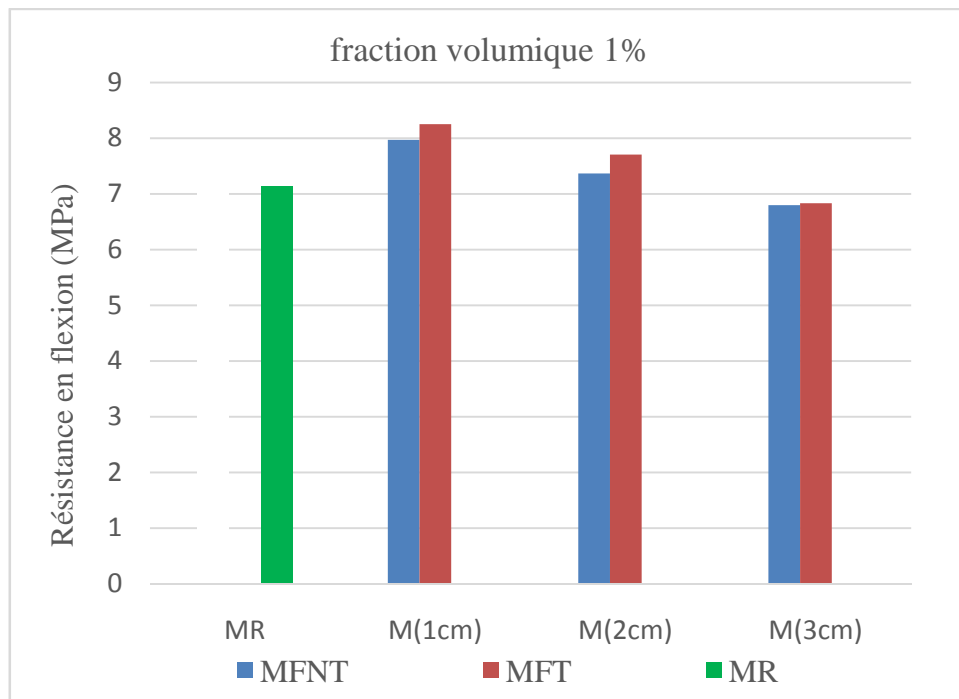


Figure III.13 : Evolution des contraintes à la flexion en fonction de la longueur des fibres de Diss pour une teneur en fibres de Diss de 1%

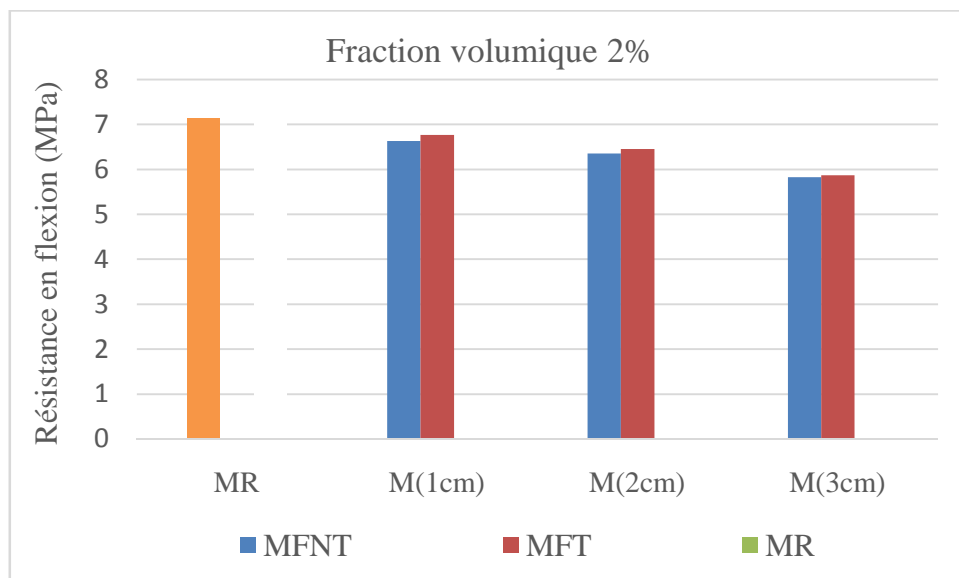


Figure III.14 : Evolution des contraintes à la flexion en fonction de la longueur des fibres de Diss pour une teneur en fibres de Diss de 2%

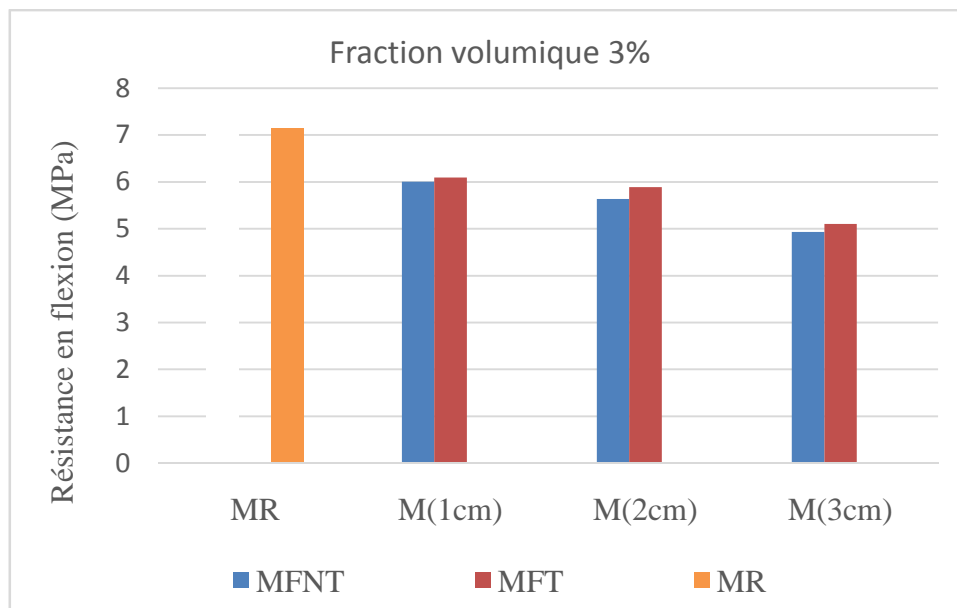


Figure III.15 : Evolution des résistances en flexion en fonction de la longueur des fibres de Diss pour une teneur en fibres de Diss de 3%

D'après les résultats des essais mécaniques illustrés dans les figures III4, 5, 6 ,7 ,8 et 9. de résistance en compression de différentes variantes de mortier étudiées on remarque que :

- La résistance à la compression des différentes formulations de mortier étudiées affectées par la teneur en fibres de Diss et leur longueur. On remarque une légère diminution de la résistance en compression du mortier renforcé à 1% de fibres de Diss, puis une chute de cette dernière pour une teneur de 3% (Figure III4, 5 et 6).
- La longueur des fibres de Diss affecte considérablement la résistance en compression. La résistance à la compression diminue légèrement pour une longueur des fibres de Diss de 1 cm puis chute pour des mortiers à base de fibres de 3 cm de longueur
- La résistance à la flexion du mortier de teneur de 1% et 1 cm de longueur des fibres de Diss augmente de 11,47% par rapport au mortier de référence, au-delà de cette teneur les résistances diminuent considérablement.

### III.2.4.2.3.Effet du traitement

Le traitement chimique à base de NaOH sur les fibres végétales de Diss a donné un additif à ces dernières par le fait de l'élimination des composantes non cellulose de ces fibres, à noter que ces fibres végétales se composent généralement par de la cellulose, de l'hémicellulose, de la lignine et de la pectine plus quelques traces de cire. Les traitements chimiques qu'à subit les fibres ont provoqué une amélioration sur les résistances en flexion et en compression des mortiers relatives, mais en comparaison avec le mortier de référence, on constate une augmentation de 15,44% en flexion puis une légère diminution pour les autres formulations.

### III.2.5. Conclusion

Les essais effectués dans ce chapitre ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- en ce qui concerne l'analyse granulométrique, la valeur obtenue nous permet de déterminer la qualité de sable utilisée et que celui - ci convient pour la composition du mortier.
- pour l'équivalent de sable les résultats obtenus nous permettent de catégoriser le sable selon son état de propreté et pour notre cas, le sable est légèrement argileux de propreté admissible adaptable aux travaux de mortier.
- Les résistances mécaniques (en compression et flexion) des mortiers à fibre **Diss** dépassent celles des mortiers témoins sans fibres.

# **CONCLUSION GÉNÉRALE**

### Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire, a pour objectif l'incorporation de fibres végétales (Diss) dans un mortier de ciment afin de mettre en valeur ces dernières, abondamment présentes en Algérie et plus exactement sur le pourtour méditerranéen et qui s'étend jusqu'aux montagnes de l'Atlas saharien (Aurès). Pour mieux comprendre l'effet de la fibre de Diss comme renfort pour les matériaux cimentaires nous avons fait une recherche bibliographique qui nous a permis d'acquérir un ensemble de connaissances sur les matériaux composites et leurs composants ainsi qu'une étude détaillée concernant les fibres végétales et les différents mortiers. En ce qui concerne le volet pratique nous avons présenté en détaille dans le chapitre II, les différents matériaux utilisés dans cette étude, à savoir les fibres de Diss, le ciment, le sable en plus de l'eau de gâchage sans oublier la démarche suivie pour la préparation des éprouvettes et les méthodes d'essais.

Enfin, le chapitre III est consacré à la préparation en laboratoire des éprouvettes de mortier en incorporant des fibres végétales (Diss) avec différents pesages et longueurs (fractions volumiques) pour chaque type de fibres (fibres traitées par NaOH, fibres non traitées). Nous avons effectué des essais en commençant par l'analyse granulométrique et l'essai d'équivalent de sable ensuite accompagnés des essais de résistance à la compression sur des éprouvettes (4x4x4) cm et à la flexion trois points sur des éprouvettes de mortiers (4x4x16) cm. Les résultats de ces essais nous ont permis de déterminer la classe du sable qui convient pour la composition de nos mortiers. Concernant les résultats obtenus à l'issue des différents tests de résistances mécaniques (en compression et en flexion trois points) effectués sur des mortiers à fibre Diss révèlent qu'ils sont meilleurs par rapport à ceux des mortiers témoins sans fibres pour les formulations de 1% de teneur en fibres de Diss traités et de 1cm de longueur.

Cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- L'ajout de fibres Diss apporte une ténacité et capable de durer longtemps aux mortiers,
- L'introduction des fibres de Diss, plus elles sont courtes plus cela facilite leur dispersion dans le mélange. Il en résulte une grande souplesse ainsi qu'une grande résistance en flexion que le mélange ciment- sable, seuls.
- La résistance s'améliore suivant l'augmentation de fibres pour les mortiers renforcés de Diss traités.
- Les mortiers à fibre Diss traitée par (NaOH) donnent bonne résistances mécaniques par rapport aux mortiers à fibre Diss non traitée par (NaOH).
- La présence des fibres végétales notamment les fibres de Diss dans des mortiers a des effets positifs du point de vue économique et environnemental.

## Conclusion Générale

---

Une poursuite à ce travail sera utile dans le sens de :

- L'élaboration d'une base de données locale dans la confection des mortiers, cela permettra la création de nouveaux mortiers à base de fibres végétales destinés au domaine du bâtiment et du génie civil.
- varier les fibres de Diss par d'autres fibres végétales telle que l'Alfa, l'Agave, le Palmier dattier, ....
- validation des modèles composites renforcés de fibres végétales par des études expérimentales pourrait inciter les industriels à utiliser et vulgariser ce genre de composites.
- Elaboration d'un programme de travail à long terme pour le développement et la protection de la plante Diss des facteurs de dégradation.

Au terme de ce travail présenté dans ce mémoire nous espérons avoir contribué à la valorisation des fibres végétales Diss qui est abondante en Algérie. Nous espérons que cette richesse naturelle sera utilisée comme renfort dans les matériaux cimentaire et aussi nous souhaitons que la recherche dans ce domaine se poursuive et lui accordera plus d'attention.

### **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] <https://bonestructure.ca> > articles-fr > quels-sont-les-ava
- [2] <https://www.rtbef.be> > article > le-béton-une-industrie-po
- [3] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Matériau\\_composite](https://fr.wikipedia.org/wiki/Matériau_composite).
- [4] Lionel GENDRE, Les grandes familles de matériaux composites, université PARIS-SACLAY, édité le 04/05/2011.
- [5] BENMEDDOUR DJAMILA «élaboration et caractérisation d'un matériau composite à base de fibre végétale : Application à la plante d'Alfa», mémoire de magister, université DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES 2011-2012.
- [6] YAHY Fatima Zahra Caractérisation physique d'une fibre végétale (le DISS), Mémoire Master, Université Mohamed Boudiaf- M'sila2016.
- [7] BENMEDDOUR DJAMILA «élaboration et caractérisation d'un matériau composite à base de fibre végétale : Application à la plante d'Alfa», mémoire de magister, université DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES 2011-2012.
- [8 ; 8] Les matériaux composites, dossier pédagogique créé avec la collaboration de Marc Marzano, action Composite Pascal Celle – GNFA, page : 16 et 33. ANFA / Édition 2014.
- [9] <https://www.actu-environnement.com> > définition.
- [10 ; 10] CARMA, « Glossaire des matériaux composites » [En ligne, page : 13], centre d'animation régional en matériaux avances, octobre 2006.
- [11] <http://docinsa.insa-lyon.fr> > thèse > 2000 > ducret/chapitre1pdf, page : (21 et 22).
- [12] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Composite\\_à\\_matrice\\_métallique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Composite_à_matrice_métallique).
- [13] DO THI Vi Vi, Matériaux composites fibres naturelles/polymère, Thèse pour le Doctorat, Université de Grenoble, France, 2011.
- [14] David Sedan« Etude des interactions physico chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite», Thèse de Doctorat, Université de Limoges, France, 2007.
- [15] Mr BALTACH Abdelghani «contribution à l'étude des fissures de fatigue réparées par patch en composite», thèse de doctorat, université DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES 2017.
- [16 ; 16] BENMEDDOUR DJAMILA «élaboration et caractérisation d'un matériau composite à base de fibre végétale : Application à la plante d'Alfa», mémoire de magister, université DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES 2011-2012.
- [17] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre\\_végétale](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_végétale)

## Références Bibliographiques

---

- [18] MOKHTARI ABDESSAMED «Influence des ajouts de fines minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcés de fibres végétales de Palmier Dattier», mémoire de magister, université KASDI MERBAH OUARGLA 2006.
- [19] Jonathan PAGE «Formulation et caractérisation d'un composite cimentaire biofibré », Université de Caen Normandie, France 2017.
- [20] Mohamed DALLEL «Evaluation du potentiel textile des fibres d'Alfa (Stipa Tenacissima L.) : Caractérisation physico-chimique de la fibre au fil», Université de Haute Alsace Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles - Mulhouse, France 2012.
- [21] ACHOUR Abderraouf «Etude des performances des mortiers renforcés de fibres naturelles : valorisation des plantes locales », Thèse pour le Doctorat, Faculté de TECHNOLOGIE, Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen
- [22] <https://www.inrs.fr> > publications > bdd > fichetox > fiche
- [23] Lisa VIDIL «Etude de matériaux naturels 2D – Potentialités d'utilisation comme renfort de matériaux composites», Thèse pour le Doctorat, Université des Antilles, Faculté des Sciences Exactes et Naturelles
- [24] Yosr BEN MLIK «Valorisation des fibres de kénaf dans des applications textiles et paratextiles», Thèse pour le Doctorat, Université de Monastir, Ecole Nationale d'Ingénieurs, Tunisie.
- [25] Lisa VIDIL «Etude de matériaux naturels 2D – Potentialités d'utilisation comme renfort de matériaux composites», Thèse pour le Doctorat, Université des Antilles, Faculté des Sciences Exactes et Naturelles.
- [26] Yosr BEN MLIK «Valorisation des fibres de kénaf dans des applications textiles et paratextiles», Thèse pour le Doctorat, Université de Monastir, Ecole Nationale d'Ingénieurs, Tunisie.
- [27] <https://www.actu-environnement.com> > définition > lignine
- [28] <https://fr.wikipedia.org> > wiki > Lignine
- [29] <https://fr.wikipedia.org> > wiki > Pectine
- [30] ACHOUR Abderraouf «Etude des performances des mortiers renforcés de fibres naturelles : valorisation des plantes locales», Thèse pour le Doctorat LMD, Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –Algérie 2017.
- [31] Jérôme LECOMTE CIRAD, UMR IATE, Montpellier, F-34398 France  
«Les cires végétales : sources et applications - Agritrop»
- [32] AIZI Djamel Eddine «Extraction, caractérisation morphologique,

## Références Bibliographiques

---

physico-chimique et mécanique des fibres caulinaires de *Retama monosperma* L.Boiss», Thèse pour le Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf. 2017

[33] Yosr BEN MLIK «Valorisation des fibres de kénaf dans des applications textiles et paratextiles», Thèse pour le Doctorat, Université de Monastir, Ecole Nationale d'Ingénieurs, Tunisie.

[34] Mohamed El Hadi BOURAHLI «Caractérisation d'un composite verre / époxy», Thèse pour le Doctorat, Université FERHAT ABBAS-SETIF .2014.

[35] AIZI Djamel Eddine «Extraction, caractérisation morphologique, physico-chimique et mécanique des fibres caulinaires de *Retama monosperma* L.Boiss», Thèse pour le Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf. 2017

[36] Mohamed El Hadi BOURAHLI «Caractérisation d'un composite verre / époxy», Thèse pour le Doctorat, Université FERHAT ABBAS-SETIF 2014.

[37] AIZI Djamel Eddine «Extraction, caractérisation morphologique, physico-chimique et mécanique des fibres caulinaires de *Retama monosperma* L.Boiss», Thèse pour le Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf. 2017.

[38] <https://www.futura-sciences.com> > Sciences > Définitions ciment

[39] RASOLOMAMPIONONA Julie Aurélie Pascale «Contribution ad l'étude de ciment à base d'aluminate de calcium », Mémoire d'étude approfondie, Université d'Antananarivo, École supérieure polytechnique- Madagascar 2000.

[40 ; 40] David Sedan« Etude des interactions physico chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite », Thèse de Doctorat, Université de Limoges, France, 2007.

[41] Derouich Hajar «Réactivité de deux variétés cristallines de la phase aluminat tricalcique C3A du ciment en présence ou non de superplastifiant », Rapport de stage, Master Génie Civil spécialité Matériaux éco- matériaux, Université de Lorraine Nancy, France, 2010/2011.

[42] AHMED Gmira «Etude texturale et thermodynamique d'hydrates modèles du ciment», Thèse de Doctorat, Université d'Orléans, France, 2003.

[43] IDRISSE Meryem «Etude de l'inclusion du Fer dans les ciments Sulfo-alumineux et valorisation du caoutchouc dans leurs mortiers», Thèse de Doctorat, Université Mohammed V, Rabat, Maroc, 2012.

[44] Site web- Ciments d'aluminates de calcium (NF EN 14647).

## Références Bibliographiques

---

- [45] David Sedan « Etude des interactions physico chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite », Thèse de Doctorat, Université de Limoges, France, 2007.
- [46] Josée Bilodeau « Influence de polyelectrolytes sur la cinétique d'hydratation et les propriétés rhéologiques de ciments alumineux », Mémoire de maitre es sciences (M.Sc.), Université de Sherbrooke, Québec (Canada) — Janvier 1997.
- [47] IDRISSE Meryem « Etude de l'inclusion du Fer dans les ciments Sulfo-alumineux et valorisation du caoutchouc dans leurs mortiers », Thèse de Doctorat, Université Mohammed V, Rabat, Maroc, 2012.
- [48] BOUGLADA Mohammed Salah « Caractérisation physico-chimique et microstructurale des ajouts minéraux », Thèse de Doctorat, Université Batna 2 – Mostefa Ben Boulaïd, Algérie, 2019.
- [49] RASOLOMAMPIONONA Julie Aurélie Pascale « Contribution ad l'étude de ciment à base d'aluminate de calcium », Mémoire d'étude approfondie, Université d'Antananarivo, École supérieure polytechnique- Madagascar 2000.
- [50 ; 50] Bouali Khaled « Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires », Mémoire de Magister, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université M'Hamed Bougara- Boumerdes-Algérie, 2014.
- [51] <http://forum-btp.blogspot.com> > 2013/09 > les-mortiers
- [52] site web LES MORTIERS PDF
- [53] <https://construction-maison.ooreka.fr> > astuce > voir > ciment, types, fabrication,
- [54] <https://www.constructionlabrique.com> > le-mortier-et-son-..
- [55] <https://www.ajol.info> > index.php > afsci > article > view Elaboration diss
- [56] Amina DAMERDJI « Les Orthoptéroïdes sur différentes plantes dans la région de Tlemcen (Algérie) » Département d'Ecologie et Environnement, Faculté S.N.V. /S.T.U., Université Aboubakr BELKAID - Tlemcen, Algérie.
- [57] SELLAMI Asma « Elaboration des composites cimentaires à base de fibres végétales locales (le diss) : Caractérisation, Durabilité et Application au cas de la maçonnerie », Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba, Algérie, 2015.
- [58] ACHOUR Abderraouf « Etude des performances des mortiers renforcés de fibres naturelles : valorisation des plantes locales », Thèse pour le Doctorat LMD, Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen – Algérie 2017.
- [59] <https://biskriaciment.com>
- [60] <https://construction-maison.ooreka.fr> > astuce > voir > sable
- [61] Cours: Matériaux de construction Chapitre 02: Les granulats.

## Références Bibliographiques

---

[62] [https://fr.wikipedia.org > wiki > Équivalent de sable](https://fr.wikipedia.org/wiki/Équivalent_de_sable).

[63] [http://documentation.2ie-edu.org > doc\\_numequivalent de sable](http://documentation.2ie-edu.org/doc_numequivalent_de_sable)).

[64] Bouali Khaled «Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires », Mémoire de Magister, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université M'Hamed Bougara- Boumerdes-Algérie, 2014.

[65] [https://www.linternaute.fr > expression > Essai de flexion](https://www.linternaute.fr/expression/Essai_de_flexion)

[66] [https://www.zwickroell.com > secteurs-dactivite > essai- de compression](https://www.zwickroell.com/secteurs-dactivite/essai-de-compression)

[67] LABED Salah «Influence des taux élevés des fines calcaires sur le comportement mécanique et rhéologique des mortiers à base du sable de carrière», Mémoire de Master, Faculté des Sciences et de la Technologie, Université Mohamed Khider de Biskra-Algérie, 2018.

[68] M. GHOMARI F & Mme BENDI-OUIS A «Science des matériaux de construction », Travaux pratiques, Faculté des Sciences de l'ingénieur, Département de Génie Civil, Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen, 2007 – 2008.