



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة البليدة 1

UNIVERSITE DE BLIDA 1

كلية الهندسة - دائرة الهندسة المدنية

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER 2

EN GENIE CIVIL

Option : Matériaux de Génie Civil

Thème

**Confection de mortiers de réparation  
avec fibres naturelles- Expérimentation**

Etudié par :  
**RAIT Tahar**  
**MOKHBAT Mohamed Adlane**

Encadreur : **Dr . M.ABDESSEMED**  
Co-Encadreur: **Mr Karim SAIDJ**

**PROMOTION: 2020/2021**

## **DEDICACES**

Du fond de mon cœur, je dédie ce modeste travail à tous ceux qui me sont chers,

### **A ma très chère mère**

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

### **A mon très cher père**

Qui m'a soutenu durant toutes mes années d'études et qui m'a appris à compter sur moi-même, qu'il me soit permis aujourd'hui de t'assurer mon profond amour et ma grande reconnaissance.

### **A toute ma famille**

A ma chère sœur IHCEN, à mes frères Mohamed et Abdou qui m'ont encouragé et soutenu durant mes études. Qu'ils puissent trouver dans ce modeste mémoire l'expression de mon attachement et de ma profonde reconnaissance.

### **A mes très chers amis**

A mon ami et mon collègue Adlene Mokhbat et sa famille, à tous mes amis et en particulier mes meilleurs amis Abdeslam, Ismail, Mohamed et Amine qui sont toujours présents à mes côtés.

**«Tahar»**

# DEDICACES

C'est avec un grand plaisir que je tiens à dédier ce modeste travail,

## ❖ A Mes parents

- A l'être la plus chère de ma vie, **Ma Mère**, qui n'a pas arrêté de me soutenir et de m'encourager durant toute sa vie, qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureux.
- A celui qui a fait de moi un homme, **Mon Père**, qui doit ma vie et ma réussite, qui m'a donné sa confiance et qui ne m'a pas laissé tomber, il était toujours à mes côtés.

## ❖ A Mes deux frères

- **Anis et Chakib**, qui m'ont toujours soutenu et encouragé. Que ce travail soit pour vous un exemple à suivre et a vous incité à mieux faire. Puisse le Bon Dieu vous donner la santé, le bonheur, le courage et surtout la réussite.

## ❖ A Mes grands-mères

- **Awawech**, que Dieu lui donne une longue et joyeuse vie et **Zhor**, que son âme repose en paix (amen), qui n'ont jamais dit non à mes exigences. Vous êtes les plus chères à mon cœur. Ceci est ma profonde gratitude pour votre éternelle amour, que ce mémoire soit le meilleur cadeau que je puisse vous offrir.

## ❖ A Mes grands-pères

- **Mahieddine et Ali**, que le Bon Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

## ❖ A Tous mes très chers amis

- A mon cher ami et mon binôme **Rait Tahar** et sa famille, je leur souhaite plein de bonheur et de réussite dans leur vie.
- Tous mes amis que j'ai connu jusqu'à maintenant, merci pour leurs amours et leurs encouragements.

«Adlane»

## *Remerciements*

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont rendu ce travail, pour leur aide précieuse, leurs conseils fructueux et leurs encouragements

Une grande gratitude et nos sincères remerciements sont exprimés à notre cher promoteur Dr **ABDSSEMED Mouloud**, pour nous avoir encadrés, éclairés et orientés. Pour ses conseils et sa disponibilité qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous tenons à remercier notre Co-promoteur **Mr SAIDJ Karim**, ainsi que **Mr Ouadah Noureddine**, pour leurs contributions, leurs soutiens et leurs encouragements. Il nous ont consacré beaucoup de leurs précieux temps, ainsi que leur disponibilité et leurs connaissances dans la pratique.

Mes remerciements vont également aux responsables du Laboratoire Centrale des Travaux Publics/ **Agence Blida**, en particulier **la Directrice ‘ ‘ Mme KASTALI H.** et tous le staff du laboratoire (Ingénieurs et cadres administratifs), pour leur soutien, leur aide précieuse dans la réalisation de toutes les étapes de partie expérimentale..

Aux membres du jury qui ont bien voulu nous honorer par leur acceptation d'évaluer notre travail.

Nous tenons également à remercier tout le staff de Département de Génie civil pour leur professionnalisme et leur disponibilité tout au long de ces cinq ans d'études.

Je désire aussi remercier les enseignants du Département Génie civil, qui nous ont fourni les outils nécessaires pour la réussite de nos études.

Sans oublier en dernier, nos remerciements à tous nos amis pour leur aide et leur encouragement.

## **ملخص:**

من أجل تعزيز قيمة المواد المحلية والمساعدة في تقليل تكاليف البناء ، تم استخدام الألياف الطبيعية لتحسين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة. يتم الحصول على الأخير عن طريق خلط مادة رابطة تعتمد على الأسمنت والرمل والماء والألياف النباتية ، وخاصة أوراق الزيتون والتين. أدى مزيج هذه المكونات ذات الطبيعة والخصائص المختلفة جدًا إلى مادة تختلف خصائصه وفقا لتركيزات حجم كل مكون. يهدف موضوع البحث هذا إلى تحقيق وإجراء تحليل تجريبي لملاط مقوى بألياف نباتية ، والذي سيكون مخصصًا لإصلاح العناصر الخرسانية التالفة. أظهرت نتائج هذا العمل انخفاضًا في قابلية عمل الملاط المقوى بالألياف بزيادة محتوى الألياف وانخفاض مقاومة الانضغاط مقارنةً بالملاط المرجعي ، بنسبة تقارب 27٪ لكل 1٪ من ألياف الزيتون والتين. ونقصان يتراوح من 56 إلى 62٪ لتركيز 3٪ من ألياف الزيتون والتين على التوالي. انخفاض في الوزن من 2 إلى 4٪ لكل من التركيزات 1 إلى 3٪ من ألياف شجرة الزيتون ومن 4 إلى 7٪ لكل من التركيزات 1 و 3٪ من ألياف التين على التوالي.

**كلمات مفاتيح :** ملاط، إصلاح، تجريبية، ألياف، طبيعية، تحضير.

### **Résumé :**

Afin de valoriser les matériaux locaux et de contribuer à la réduction des coûts de construction, des fibres naturelles ont été utilisées pour améliorer les caractéristiques physiques et mécaniques du béton. Ce dernier est obtenu en mélangeant un liant à base de ciment, sable, de l'eau et des fibres végétales, notamment feuilles d'oliviers et de figuiers. Le mélange de ces constituants de natures et de caractéristiques très différentes a conduit à un matériau dont les propriétés seront variables en fonction des concentrations volumiques de chaque constituant. Ce thème de recherche, vise à réaliser et à mener une analyse expérimentale d'un mortier renforcé par fibres végétales, qui sera destiné pour la réparation des éléments détériorés en béton. Les résultats de ce travail, ont montré une diminution de l'ouvrabilité du mortier fibré en augmentant le taux de fibres et une diminution de la résistance à la compression par rapport au mortier témoin, avec des pourcentage d'environ 27% pour 1% de fibres d'olivier et de figuier, et une diminution variant de 56 à 62 % pour 3%, respectivement, de fibres d'olivier et de figuier. Une diminution du poids de 2 à 4 % pour 1 à 3% de fibres d'olivier et de 4 à 7% pour 1% et 3% de fibres de figuier respectivement.

**MotsClés :** Mortier, réparation, expérimental, fibre, naturel, confection, flexion.

**Abstract:**

In order to enhance the value of local materials and help reduce construction costs, natural fibers have been used to improve the physical and mechanical characteristics of concrete. The latter is obtained by mixing a binder based on cement, sand, water and plant fibers, in particular olive and fig leaves. The mixture of these constituents of very different natures and characteristics has resulted in a material whose properties will vary as a function of the volume concentrations of each constituent. This research theme aims to achieve and conduct an experimental analysis of a mortar reinforced with vegetable fibers, which will be intended for the repair of deteriorated concrete elements. The results of this work showed a decrease in the workability of the fiber mortar by increasing the fiber content and a decrease in the compressive strength compared to the control mortar, with percentage of approximately 27% for 1% of olive and fig tree fibers, and a decrease ranging from 56 to 62% for 3%, respectively, of olive and fig tree fibers. A reduction in weight of 2 to 4% for 1 to 3% of olive tree fibers and of 4 to 7% for 1% and 3% of fig fibers respectively.

**Keywords:** Mortar, repair, experimental, fiber, natural, confection.

## **TABLES DES MATIERES**

<b>DEDICACE</b>	<b>1</b>
<b>REMERCIEMENTS</b>	<b>3</b>
<b>ملخص</b>	<b>4</b>
<b>RESUMÉ</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>6</b>
<b>TABLES DES MATIERES</b>	<b>7</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b>	<b>10</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>12</b>
<b>LISTE DES SYMBOLES</b>	<b>13</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>14</b>
<b>CHAPITRE I : Synthèse bibliographique</b>	<b>15</b>
I.1. Généralités	15
I.2 Pathologie des structures	15
1.2.1 Dégradation des Matériaux	15
1.2.2 Désordres dus aux erreurs de conception	16
1.2.3 Désordres dus aux erreurs d'exécution	16
1.2.4 Désordres dus aux actions sollicitant les structures	17
I.3. Méthodes de réparation et renforcement	18
I.3.1. Introduction	18
I.4 Mortiers de réparation	22
I.4.1 Historique du béton armé	22
1.4.2. Le mortier et ses constituants	23
1.4.3. Mortier de réparation	23
1.5 conclusion	23

<b>CHAPITRE II : Les Fibres destinées pour les béton et mortiers</b>	<b>25</b>
II.1. Préambule	25
II.2 Définition et différents types de fibres	25
II.2.1 Définition	25
II.2.2 Différents types de fibres	25
II.3 Fibres naturelles en Algérie et applications	30
 <b>CHAPITRE III : Historique d’application des fibres et la confection des épreuves.</b>	 <b>33</b>
III.1. Historiques des fibres	33
III.1.1. Les fibres	33
III.1.2. Le rôle des fibres dans le béton	35
III.2. Confection des éprouvettes	35
III.2.1. Échantillonnage	36
III.2.2 Influence de la dimension des éprouvettes	36
III.2.2.1. Corrélations entre éprouvettes moulées	36
III.2.3. Choix du moule	37
III.2.4. Serrage à refus du mortier	38
III.2.5. Démoulage	39
III.3 Conclusion	39
 <b>CHAPITRE IV : Investigation expérimentale.</b>	 <b>40</b>
IV.1. Introduction	40
IV.2. Les matériaux utilisés	40
IV.2.1 Préambule	40
IV.2.2 Le ciment	40
IV.2.3 Le sable	41
IV.2.4 L’eau	42
IV.2.5 Adjuvant	42

IV.2.6. Les fibres naturelles	42
IV.3 Déroulement des essais	44
IV.3.1. Analyse granulométrique	44
IV.3.2 Équivalent de sable	47
IV.3.3 Les masses volumiques absolues	48
IV.3.4 Les masses volumiques apparentes	49
IV.3.5. Correction du sable	50
IV.4. Préparation des mortiers	51
IV.4.1. Dosage du mortier	51
IV.4.2. Dosage des fibres	51
IV.4.3. Malaxage du mortier	52
IV.4.4. Préparation des éprouvettes	53
IV.5 Essai de compression	54
IV.6. Conduite des essais	54
<b>CHAPITRE V : Présentation des Résultats et Discussion</b>	<b>55</b>
V.1. Introduction	55
V.2. Résistance en compression	55
V.3. La masse des mortiers	58
V.4. Conclusion	61
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	<b>62</b>
<b>REFERENCES</b>	<b>63</b>

# LISTE DES FIGURES

## Chapitre I : Synthèse bibliographique.

Figure I.1. Causes physiques de détérioration du béton.	16
Figure I.2. Application du TFC sur un tablier de pont à poutres.	22
Figure I.3. Confection de béton pour dalle.	22
Figure I.4: Mélange des constituants du mortier.	23

## Chapitre II : Les Fibres destinées pour les béton et mortiers.

Figure II.1: Vue microscopique des Fibres de verre.	26
Figure II.2 : Tissu de fibres de carbone.	26
Figure II.3: Vue des fibres métalliques.	26
Figure II.4 : Vue de Fibres d'amiante.	27
Figure II.5 : Fibres polypropylène en vue microscopique.	27
Figure II.6 : Organigramme des différents types de fibres naturelles.	28
Figure II.7. Classification des fibres végétales selon l'origine	28
Figure II.8. Fibres de l'abaca.	29
Figure II.9 Vue de fibres de lin.	29
Figure II.10. Fibres de chanvre.	29
Figure II.11. Fibres de coton.	30
Figure II.12. Fibres de kenaf.	30
Figure II.13. Feuilles d'olivier de la région de Blida.	31
Figure II.14. Feuilles de figuier et leurs composants.	32

## Chapitre III : Historique d'application des fibres et la confection des éprouvettes.

Figure III.1 : Fibres polypropylènes.	34
Figure III.2 : Fibres métalliques.	34
Figure III.3. Fibres en caoutchouc.	34
Figure III.4. Fibres de palmier	34
Figure III.5 : Schémas descriptif comment les fibres couvrent les microfissures	35
Figure III.6 : Mortier frais.	36
Figure III.7 : Essais de compression sur éprouvettes.	37

Figure III.8 : Moules pour éprouvettes.	38
Figure III.9 : Table vibrante.	38
Figure III.10 : Démoulage des éprouvettes.	39

#### **Chapitre IV : Investigation expérimentale.**

Figure IV.1. Ciment matine.	40
Figure IV.2 Photos du sable utilisé	41
Figure IV.3. Le super-plastifiant.	42
Figure IV.4 : Forme de fibre utilisée.	43
Figure IV.5 : Masse volumique absolue de fibres.	43
Figure IV.6 : Série des tamis et manipulation de l'essai.	45
Figure IV.7. Courbe granulométrique de sable 0/5.	46
Figure IV.8 : Courbe granulométrique de sable correcteur.	47
Figure IV.9 : Matériel utilisé pour Mesure des particules fines.	47
Figure IV.10. Cuve de malaxer avec les matériaux.	52
Figure IV.11. Préparation du mortier à fibres.	52
Figure IV.12. Les moules prismatiques de dimension 10× 10× 10 cm.	53
Figure IV.13. Vue sur l'éprouvette du mortier témoin.	53
Figure IV.14. Bassin au on a conservé les éprouvettes.	54
Figure IV.15. Machine de compression hydraulique.	54

#### **Chapitre V : Présentation des Résultats et Discussion**

Figure V.1 : La fragilité de mortier non fibré.	55
Figure V.2 Résistance à la Compression de (MR), (MFO1) et (MFF1).	56
Figure V.3 Résistance à la Compression de (MR), (MFO3) et (MFF3).	57
Figure.V.4 la masse de (MR), (MFO1) et (MFF1).	59
Figure.V.5 la masse de (MR), (MFO3) et (MFF3).	60

## Listes des tableaux

### **Chapitre II : Les Fibres destinées pour les béton et mortiers**

Tableau II.1 : Composition chimique global des feuilles d'olivier	31
Tableau II.2 : Composition chimique en acides aminés des feuilles d'olivier.	32
Tableau II.3. Concentration des minéraux dans les feuilles d'olivier.	32

### **Chapitre III : Historique d'application des fibres et la confection des éprouvettes.**

Tableau III.1 : Équivalence des résistances obtenues sur cubes de 100 et cylindre $\varnothing$ 113 mm et $\varnothing$ 150 mm.	37
---	----

### **Chapitre IV : Investigation expérimentale.**

Tableau IV.1 : Composition minéralogique de ciment.	41
Tableau IV.2 : propriété physique et mécanique du ciment.	41
Tableau IV.3 : Caractéristiques de l'adjuvant Sika Visco Crete Tempo12	42
Tableau IV.4 : Caractéristiques physiques de fibre d'olivier.	43
Tableau IV.5 : Caractéristiques physiques de fibre figuier.	43
Tableau IV.6 : Analyse granulométrique du sable 0/5.	45
Tableau IV.7 : Analyse granulométrique du sable Correcteur.	46
Tableau IV.8 : Équivalent de sable du sable 0/5.	48
Tableau IV.9 : Equivalent de sable du sable correcteur.	48
Tableau IV.10 : Masse Volumique Absolue de sable correcteur.	48
Tableau IV.11 : Masse Volumique Absolue du sable 0/5.	49
Tableau IV.12 : Masse volumique apparente du sable 0/5.	49
Tableau IV.13 : Masse volumique apparente du sable correcteur.	50
Tableau IV.14 : Analyse granulométrique du sable corrigé	51

### **Chapitre V : Présentation des Résultats et Discussion.**

Tableau V.1 : Résistance à la compression des mortiers avec 1% de fibres d'olivier et de figuier.	56
Tableau V.2 : Résistance à la compression des mortiers avec 3% de fibres d'olivier et de figuier.	57
Tableau V.3 : La masse des mortiers avec 1% de fibres d'olivier et de figuier.	58
Tableau V.4 : La masse des mortiers avec 3% de fibres d'olivier et de figuier.	59



## Listes des symboles

$\emptyset$  : diamètre de cylindre

$F_c$  : Résistance caractéristique à la compression

$E_s$  : Valeur de l'équivalent de sable

$M_{Fopt}$  : module de finesse optimal

$\sigma'_{moy}$  : La contrainte moyenne

$\sigma'_{28}$  : La contrainte à 28jrs

$S$  : L'écart type

$\rho_{abs}$  : Masse Volumique Absolue

$\rho_{app}$  : Masse Volumique Apparente

$^{\circ}C$  : température

## Introduction Générale

L'Algérie est un des pays, vu sa situation stratégique Méditerranéenne et nord-africaine, qui dispose d'extraordinaires ressources en fibres végétales (alfa, oliviers, palmier, etc..). Cependant, leur valorisation dans les domaines pratiques de constructions et engineering, entre autres, est nouvellement utilisée. Dans la réparation des éléments porteurs, l'utilisation des fibres d'olivier, de figuier, dans le mortier s'est avérée comme une solution avantageuse, vu leurs constituants naturels et leurs caractéristiques très différentes. La caractérisation de ce nouveau matériau composite nécessite alors, la multiplication de recherches et d'essais, ainsi que le développement de nouveaux procédés d'expérimentation. Actuellement, la confection de mortiers avec les fibres d'oliviers ou de figuiers demeure artisanale, toutefois, les procédés modernes de fabrication et l'amélioration des connaissances de leurs comportements mécaniques doivent pouvoir contribuer à l'amélioration de leurs performances. Ce travail initié dans le cadre de ce mémoire de master2, consiste à caractériser expérimentalement l'état frais (affaissement) et à l'état durci (résistance mécanique), à l'échelle de mortier, d'identifier l'effet de la fibre végétale et son dosage sur ces propriétés.

Le contenu de ce mémoire est structuré en cinq chapitres et est terminé par une conclusion générale et des recommandations.

Après une introduction générale traçant l'état des lieux et la problématique posée, ainsi que l'objectif du travail, le premier chapitre est dédié à la présentation d'une synthèse bibliographique très concise sur les différents matériaux utilisés dans cette étude, les différentes définitions, les techniques de réparation, leurs avantages, ainsi que l'intérêt de leurs utilisations et les différents domaines d'application pour chaque matériau mentionné. Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des fibres destinées pour le mortier de réparation, à la spécification des fibres naturelles, aux méthodes de renforcement, et aux applications de renforcement. Le troisième chapitre donne une genèse, dans la littérature, pour présentation de confection des éprouvettes pour la réparation d'un béton avec les fibres naturelles.

Pour le quatrième chapitre, on décrit le programme expérimental, avec les différentes phases, à savoir : les matériaux utilisés, les formulations, le déroulement des essais, les tests effectués. Le cinquième chapitre est totalement consacré à la discussion des résultats obtenus et commentaires. Ce chapitre contient les observations et les interprétations des résultats obtenus. Enfin, une conclusion générale et des recommandations, achèveront le contenu de ce mémoire.

## Synthèse bibliographique

### I.1. Généralités

L'Algérie dispose d'un patrimoine très consistant de structures et d'infrastructures en béton. Les dernières statistiques montrent l'existence de milliers de bâtiments, à usage d'habitation (immeubles, hôtels), à usage administratif, à usage éducatif (écoles, collèges, lycées, universités), ou à usage commerciaux. Comme il existe un nombre de 21000 ponts, dont 13000 routiers et 8000 rails. Comme ça existe plusieurs autres constructions en béton, comme les pistes rigides, les ports, etc. Vu la vétusté et l'exploitation de ces ouvrages, beaucoup d'entre eux nécessitent des entretiens, des réparations et parfois des rénovation et/ou réhabilitations. Pour cela, il est indispensable d'appliquer des techniques fiables pour redonner la portance aux éléments structuraux de ces ouvrages et ainsi garantir la durée de vie, qui est généralement entre 70 et 120 ans. On présentera dans ce chapitre une synthèse bibliographique sur la pathologie des structures en béton armé et les causes des désordres, ainsi que les techniques de réparations. On s'étalera sur l'utilisation et la performance des mortiers de réparation, ainsi que l'insertion des fibres naturelles (en particulier les fibres d'oliviers et celle de figuiers) dans ces mortiers réparation des structures en béton armé, comme solution alternative et leurs performances pour la sauvegarde de ces structures une fois réparées..

### I.2 Pathologie des structures

Les ouvrages en béton subissent, au cours de leur vie de service, des modifications structurelles sérieuses selon leur importance, leur exploitation et l'agressivité de l'environnement (salinité, humidité, sismicité). Ces modifications sont principalement : la fatigue des matériaux, la corrosion des armatures, l'éclatement du béton et les divers chocs. Le niveau des endommagements, qui engendre ces modifications, dépend des efforts subis par rapport à la résistance potentielle du matériau et évolue différemment selon la géométrie de l'ouvrage. Les structures horizontales de type poutres, semelles ou tout élément massif en béton par exemple, paraissent plus affectées par des pathologies de fissuration. Par contre, les ouvrages élancés, tels que les poteaux, appuis (piles et culées) de ponts, ou encore les coques, sont plus spécifiquement sensibles aux ruptures par instabilité. Dans la plupart des cas, les modifications structurelles sont néfastes à la stabilité des ouvrages, ce qui amène les maîtres d'ouvrages à prévoir de nombreux renforcements et réparations [1]. Les structures peuvent connaître des désordres de gravité très variable et dont les causes sont multiples : dégradations des matériaux, erreurs de conception ou d'exécution, ainsi que des modifications des conditions d'exploitation ou d'utilisation.

#### *1.2.1 Dégradation des Matériaux*

Les propriétés physiques et plus particulièrement le comportement mécanique du béton et des aciers sont susceptibles de se dégrader en fonction des conditions d'environnement définies par la localisation géographique de l'ouvrage. Les principales causes de vieillissement sont liées aux phénomènes suivants [2] :

- Chocs, érosion, abrasion : principalement sur les ouvrages se situant en milieu maritime ;
- Action des cycles gel-dégel : dans les régions à climat froid ;
- Altération physico-chimique du béton : dans les milieux agressifs ;
- Retrait du béton : principalement dans les environnements chauds et secs. ;
- Corrosion des armatures métalliques par manque d'enrobage, par carbonatation ou par attaque aux chlorures.

Les causes physiques de dégradation du béton est illustrés dans la figure I.1

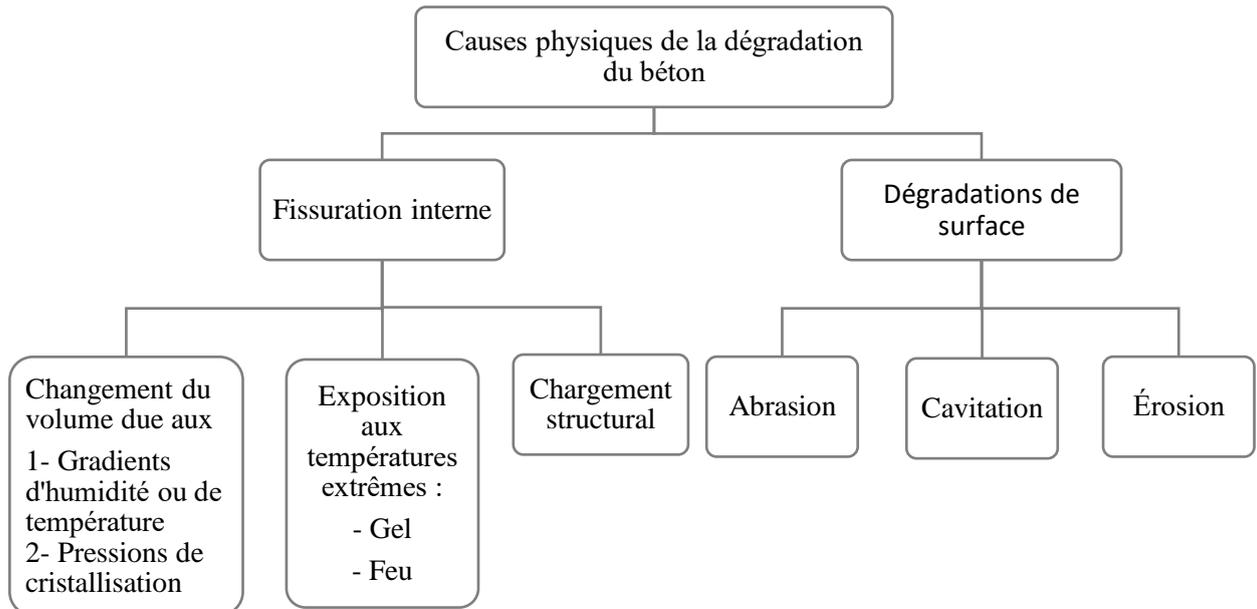


Figure I.1. Causes physiques de détérioration du béton [3]

### 1.2.2 Désordres dus aux erreurs de conception

Parmi les erreurs de conception, on peut citer :

- Erreurs dans le bon choix du matériau constituant l'ouvrage ;
- Erreurs dans le pré dimensionnement des éléments ;
- Négligence totale de la sismicité de la zone ;
- Mauvais choix de la meilleure variante ;
- Absence de l'étude comparative technico-économique ;
- Structure instable.

### 1.2.3 Désordres dus aux erreurs d'exécution

D'une façon générale, les erreurs d'exécution sont dues à une insuffisance des documents d'exécution, entraînant des improvisations aux conséquences souvent graves, ou bien à des déficiences dans l'organisation ou le contrôle de la qualité, ou encore au non-respect de certaines règles de l'art. Les erreurs les plus fréquentes ou les plus lourdes de conséquences sont :

**a /Défauts de mise en place de ferrailage :**

- Non-respect des plans de ferrailage ;
- Mauvaise disposition des armatures.

**b/ Défauts de malaxage et de coulage :**

- Malaxage trop court ;
- Déchargement très lent des malaxeurs à tambour non inclinable qui cause la ségrégation ;
- Généralement l'équipe sur chantier essaye de couler le béton rapidement, laissant tomber librement le béton surtout lorsqu'on bétonne un élément d'une hauteur importante avec une forte densité de ferrailage, ce qui peut nuire à son homogénéité.

**c/ Défauts de coffrage et de décoffrage :**

Les défauts relatifs au coffrage et décoffrage sont énumérés comme suit :

- L'absence d'écarteurs de coffrage peut engendrer une insuffisance d'enrobage ;
- Un coffrage étanche permet à une partie de ciment de s'échapper ;
- Un décoffrage prématuré, c'est quand on laisse le temps nécessaire pour le durcissement du béton.

**d/ Défauts de vibration :**

On peut citer :

- Une vibration trop brève ou pas assez puissante peut provoquer des défauts d'homogénéité ;
- Une vibration trop forte, au-dessus des barres de diamètres importants placées trop près de la surface induit la fissuration précoce ;
- Une vibration excessive produira une certaine ségrégation dans le mélange particulièrement dans les bétons assez fluides.

**e/ Défauts de cure :**

Pour le murissement du béton, on a besoin parfois d'un échauffement du béton (cure). Néanmoins, il faut éviter ce qui suit :

- La vitesse d'hydratation étant plus grande durant les premiers jours, c'est à ce moment qu'on a le plus besoin d'un mûrissement (cure) convenable, car l'évaporation de l'eau est très importante si la cure est inadéquate, surtout les éléments minces où le dimension de la surface exposée favorise l'évaporation ;
- Fissures dues au : retrait plastique, retrait du au séchage, différences de température et à la combinaison de ces facteurs.

**1.2.4 Désordres dus aux actions sollicitant les structures**

Le poids propre est rarement une cause directe d'apparition de désordres, bien que l'examen de notes de calculs révèle parfois de graves erreurs ou imprécisions (masse volumique sous-estimée). D'autre part, pendant la vie de l'ouvrage, le poids de certains équipements peut évoluer de façon significative, Mais ce sont surtout les actions variables (dues au trafic et actions naturelles) ou accidentelles qui sont en partie responsables de la dégradation des ouvrages.

**a/ Actions permanentes :**

- Rechargement excessif de la structure;
- Erreurs du métré portant sur le poids de certaines pièces ;
- Sous-estimation du poids des équipements des ouvrages.

**b/ Actions liées au comportement rhéologique des matériaux :**

- Évaluation insuffisante du comportement des matériaux utilisés dans le temps sous effet des contraintes et des déformations ;
- Estimation insuffisante ou erronée des phénomènes liés au comportement dans le temps des matériaux.

**c/ Actions dues au trafic (en cas des infrastructures de transports)**

- Circulation d'engins de terrassement sur un tablier dont le béton est encore jeune ;
- Effets répétitifs sur les ponts (phénomène de fatigue) ;
- Amplification des effets statiques qui engendre la fissuration des dalles de béton armé ;
- Effet de souffle provoqué par le train à grande vitesse sur les équipements placés en bordure de voie.

**d/ Actions climatiques**

Les principales actions climatiques affectant les ponts sont la température (contraintes supplémentaires), le vent et la neige. On y ajoute la pression hydrostatique pour les ouvrages traversant un cours d'eau et l'affouillement des rivières autour des piles. On peut citer les actions à caractère accidentel, qui sont les actions mécaniques de l'eau (affouillement des rivières autour des piles) .

**e/ Séismes**

Lorsque l'accélération au sol dépasse 3% de celle de la pesanteur  $g$ , l'action du séisme peut devenir dramatique. Les effondrements les plus spectaculaires ont été observés dans le cas de structures peu hyperstatiques comportant des éléments de ductilité insuffisante, liée le plus souvent à une insuffisance d'armatures transversales et/ou à un excès d'armatures longitudinales mal maintenues dans les zones sollicitées au-delà du domaine élastique.

**I.3. Méthodes de réparation et renforcement*****I.3.1. Introduction***

Suivant l'importance et les causes des désordres affectant une structure en béton (bâtiment, pont, autres constructions), le projet de réparation et/ou renforcement repose, en général, sur la mise en œuvre d'une combinaison de plusieurs techniques que l'on peut classer dans l'une des cinq catégories suivantes [4] :

- Traitements de surface : ragréages et injection des fissures ;
- Protection du béton et des armatures ;
- Régénération des matériaux ;
- Ajout de forces (ou de déformations) ;
- Ajout de matière.

## a/ Traitement de Surface

Les principaux traitements de surface sont les ragréages et l'injection des fissures sont :

### ▪ Ragréages

Le ragréage consiste en premier lieu à préparer avec soin les surfaces à traiter afin de créer un support sain, propre, rugueux, de nature à favoriser une bonne adhérence au niveau de la surface de reprise. Les techniques les plus courantes sont l'hydro-démolition, le décapage au marteau pneumatique ou, dans les cas extrêmes, au brise-béton, le bouchardage, le burinage et le piquage au petit marteau pneumatique. En présence d'aciers apparents corrodés, il est indispensable de les décaper (par sablage ou grenailage), puis de leur conférer une nouvelle protection à l'aide de produits hydrauliques ou de résines organiques, voire de les remplacer dans les cas extrêmes. Il est essentiel de dégager les armatures non seulement sur leur face apparente mais sur tout leur pourtour de façon à éliminer toute la partie dépassivée du béton.

### ▪ Injection des fissures

Selon l'origine des contraintes de traction qui les ont provoquées, les fissures offrent un faciès et un tracé typiques. Très souvent, notamment dans le cas de la flexion, la fissuration comporte des fissures principales nettes et rectilignes sur lesquelles se greffent de nombreuses ramifications. De telles ramifications peuvent exister aussi au voisinage des armatures proches de la fissure principale : elles sont dues à l'effet d'entraînement des aciers dans la zone perturbée. Les fissures sont caractérisées par :

- leur âge, qui peut conditionner leur injectabilité ;
- leur tracé, souvent révélateur de leur origine ;
- leur ouverture, mesurable à l'aide d'appareils spécialisés (fissuromètre, compte-fils, jauges d'épaisseur, etc.) ;
- leur profondeur, permettant de distinguer les fissures traversantes, aveugles ou de surface ;
- leur activité et/ou leur évolution, permettant de distinguer les fissures inertes des fissures actives dont l'ouverture varie en fonction de facteurs extérieurs tels que température, charges, vibrations, hygrométrie etc. La variation de cette ouverture définit le souffle de la fissure.

L'injection des fissures précède généralement un autre système de réparation. Il peut s'agir de simplement les colmater pour empêcher la pénétration de tout corps étranger et, en particulier, de l'eau, ou d'introduire un matériau en complément d'un ajout de forces par précontrainte pour rétablir le monolithisme de la structure. Les deux grandes catégories de traitements sont les traitements de surface, qui permettent essentiellement d'assurer ou de rétablir l'étanchéité de la surface d'une structure et d'éviter ou de stopper la corrosion des armatures et les traitements de masse, qui consistent à injecter en profondeur un produit liquide qui, après durcissement, a des caractéristiques mécaniques voisines de celles du matériau environnant.

Pour les traitements de surface, on peut citer :

- le calfeutrement, qui consiste à obturer la fissure par application d'un produit déposé dans une engravure façonnée le long de son tracé avec une ouverture de l'ordre des deux tiers de sa profondeur ;

- le pontage, qui rend hermétique l'ouverture de la fissure par application superficielle d'un film généralement armé et adhérent (épaisseur 3 mm) de part et d'autre des lèvres de la fracture. Le pontage s'insère le plus souvent dans un complexe de revêtement général ;

- l'*imprégnation*, qui permet d'étancher une surface présentant un réseau important et diffus de microfissures. Le produit est passé sur la surface concernée, à la brosse ou au rouleau. Il adhère à la surface et, en général, pénètre sur quelques millimètres dans les microfissures.

Pour les traitements de masse, l'injection se fait par cheminement du produit liquide dans la fissure, de l'extérieur vers l'intérieur, après obturation de la partie visible de la fissure. Dans le cas de fissures traversantes aveugles, l'injection est toujours difficile à réaliser puisqu'on ne peut intervenir que sur une seule face. La solution la plus couramment utilisée dans ce cas consiste à régler progressivement la viscosité du produit injecté en l'épaississant au fur et à mesure de l'injection, jusqu'à atteindre la pression dite de « refus » à partir de laquelle le liquide ne s'écoule plus.

### **b/ Protection du Béton et des Armatures**

La protection des éléments porteurs des éléments structuraux en béton armé est parmi les phases primordiales dans la réparation de ces éléments. On distingue :

#### ▪ **Protection du béton**

Lorsque l'enrobage des aciers est trop poreux ou d'épaisseur insuffisante, ou lorsque l'environnement est particulièrement agressif, il est souvent nécessaire d'appliquer un traitement de protection du béton. Une telle protection peut aussi être appliquée à un mortier fraîchement déposé, vis-à-vis des agressions atmosphériques, des fondants, de l'eau de mer, des attaques chimiques ou bactériologiques ou, tout simplement, vis-à-vis de la pénétration de l'eau, afin d'assurer une plus grande durabilité de la réparation.

#### ▪ **Protection des armatures**

Les principales causes de la corrosion des armatures du béton armé, sont la carbonatation et la présence d'ions agressifs tels que les chlorures dans un milieu sec et humide. Les armatures peuvent être protégées par : la protection cathodique (technique permettant de stopper un processus de corrosion), l'abaissement de potentiel (obtenu en imposant le passage d'un courant électrique qui va de l'enrobage vers l'armature), les inhibiteurs de corrosion (c'est des éléments chimiques permettant de ralentir, voire de stopper le processus de corrosion), le revêtement des armatures (par des polymères comme les résines époxy ou par revêtement métallique comme le zinc) et la régénérations des matériaux (pour donner une renaissance aux matériaux (béton, aciers, câbles)).

### **c/ Ajout de Forces ou de déformations**

Afin d'augmenter la capacité portante d'un ouvrage existant, on applique des efforts d'une intensité connue et suivant des directions définies par le biais de câbles précontraints, qu'on appelle précontrainte additionnelle. Cette précontrainte, qui est en général extérieure, permet de renforcer la structure. Son application suppose un traitement préalable des fissures par injection car elle ne peut, à elle seule, refermer les fissures. Parmi ces applications, on distingue: le renforcement des ouvrages en flexion, renforcement des éléments secondaires (entretoises, éléments de tablier) ou le renforcement des ouvrages vis à vis de l'effort tranchant (qui surgissent quand le problème majeur, dans une structure en

béton précontraint, est celui de l'effort tranchant, et si l'inclinaison de câbles de précontrainte additionnelle n'est pas possible, on recourt à l'emploi d'étriers actifs, généralement verticaux et constitués de fils, de barres ou de mono torons).

#### **d/ Ajout de matière**

Les techniques d'ajout de matière, qui sont très utilisées pour la réparation et renforcement sont [5] :

- Béton (béton coulé ou projeté, béton contrecollé) ;
- Mortier de réparation sans ou avec fibres [6] ;
- Armatures passives intérieures au béton (barres de béton armé, armatures galvanisées, armatures en acier inoxydable ou armatures composites à base de fibres noyées dans une matrice à base de résine) ;
- Armatures passives extérieures au béton, sous forme de tôles collées ou de plaques et de tissus composites.

L'ajout de matière est la technique la plus répandue dans la réparation des ouvrages en béton armé. Cependant, les techniques de chemisage et de béton projeté présentent beaucoup d'inconvénients tels que : le changement de géométrie, de l'esthétique, les grands réaménagements, le coût et le surplus de poids ajouté par la structure sur la fondation. Le chemisage est toujours pratiqué dans la réhabilitation du bâtiment et le renforcement des appuis des ponts vétustes ou anciens. Contrairement aux techniques sus mentionnées, la technique de tôles collées, qui a remplacé ces techniques traditionnelles, a permis d'éliminer pas mal d'inconvénients, vu sa simplicité de mise en œuvre. Cependant, le problème de corrosion en sites agressifs des tôles collées, appliquée pour la première en Afrique du Sud en 1969 [7], sur un tablier de pont à poutres en béton reste un inconvénient majeur. Par conséquent, la tôle collée est remplacée par des matériaux résistants à la corrosion comme les tissus à base de polymères (carbone, verre, aramide, résidu plastique).

La technique de collage de tissus de fibres de carbone, consiste à préparer la surface du béton par un sablage à sec en vue d'obtenir un état de surface rugueux et uniforme en tous points avec des reliefs d'impact compris entre 0,5 et 1 mm. Les dépôts de poussières et les particules non adhérentes sont éliminés par un brossage énergétique. Ensuite une couche de résine est d'abord appliquée au rouleau à poils ras. Le tissu de fibre de carbone est ensuite appliqué. Si nécessaire, il est possible de juxtaposer plusieurs bandes de bord à bord puis, une couche d'imprégnation de la même résine est mise en place à la spatule à raison de 700 g/m<sup>2</sup> environ. Cette opération peut être renouvelée pour une deuxième couche de TFC. Enfin, une couche de fermeture est appliquée à la spatule. La figure I.2 montre un pont renforcé avec du tissu de fibres carbone.



Figure I.2. Application du TFC sur un tablier de pont à poutres.

## I.4 Mortiers de réparation

### I.4.1 Historique du béton armé

Le béton est le matériau de construction le plus populaire dans le monde moderne ; plus de 11,4 milliards de tonnes de béton sont consommés chaque année dans le monde. La haute résistance à la compression du béton utilisé à des fins structurales. Généralement, l'humidité et la variation de température, la surcharge sont les causes des fissures qui se produisent [9]. Le « véritable » béton, au sens où nous l'entendons aujourd'hui, c'est-à-dire un mélange de ciment et de granulats, est utilisé dès l'époque romaine : les nombreux bâtiments de la Rome antique encore visibles témoignent de la résistance de leurs constructions. Les structures de maçonnerie sont répandues autour de la Méditerranée et l'Europe. Avec les différents matériaux utilisés pour la maçonnerie structures, p.ex. Briques d'argile, tuf et pierres, maçonnerie est considérée comme l'un des matériaux de construction les plus utilisés par les humains. Les anciennes structures de maçonnerie ont été construites principalement pour résister les charges verticales et gravitationnelles, principalement les charges mortes. Cependant, les constructions historiques, en générale, sont susceptibles d'être soumises à divers dangers, naturels ou d'origine humaine, qui peuvent menacer leurs fonctions, leur comportement et même la continuité de leur existence. Divers risques naturels catastrophiques, à savoir les tremblements de terre, ont se sont produits au fil du temps et ont causé de graves pertes et pertes. Sous de telles charges latérales, les structures de maçonnerie montraient une vulnérabilité réponse sismique. Ainsi, ce problème met en évidence la nécessité d'aborder les interventions scientifiques pour préserver le patrimoine bâti contre les tremblements de terre [9].



Figure I.3. Confection de béton pour dalle

### 1.4.2. Le mortier et ses constituants

Le mortier est un mélange à consistance de pâte ou de boue, d'un liant et d'agrégats avec de l'eau. Il est utilisé en maçonnerie comme élément de liaison, de scellement ou comme enduit. On peut le considérer de point de vue technique comme une colle. Actuellement, le mortier est composé d'un mélange de liant (ciment), de sable, d'eau et éventuellement d'adjuvants. Dans toute construction, il est indispensable de réunir entre ces différents éléments (blocs de béton, briques, éléments en béton préfabriqué, etc.) au moyen d'un mortier de ciment ou d'autre liant, dans le but :

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

Le mélange d'un liant, d'eau, de sable et d'adjuvants, sans agrégat, s'appelle un mortier. Si on ajoute des granulats (appelés aussi graves ou *agrégats* : cailloux, gravillons) à un mortier, on obtient du béton.. On peut dire que les mortiers sont des cas particuliers simplifiés du béton ou le béton, un cas particulier de mortier (Figure I.4).



Figure I.4: Mélange des constituants du mortier.

### 1.4.3. Mortier de réparation

Un mortier de réparation est un élément de la construction composé de sable, de ciments spéciaux, de fibres et d'eau. Il permet de réaliser des travaux de remise en état et de protection des ouvrages en béton et en matériaux rigides [10]. Les caractéristiques les plus importantes d'un mortier de réparation de pièces sont : sa fluidité, sa résistance à l'adhérence, sa résistance mécanique, son faible rétrécissement et sa protection contre les environnements agressifs.

La norme EN 1504-3 détermine quatre classes de mortiers de réparation : les classes R1 et R2 conviennent aux réparations non structurales, dites aussi superficielles, c'est-à-dire pour les réparations d'éléments non porteurs comme la finition esthétique des façades, les nez de balcons. Un mortier R2 présente par exemple des caractéristiques de résistance en compression de l'ordre de 15 Mpa et de 0,8 Mpa en ce qui concerne l'adhérence. Et les mortiers classés R3 et R4 interviennent pour la restructuration d'ouvrages et bâtiments ainsi que pour la réparation d'éléments de

structure, poutres, poteaux. En ce qui concerne un mortier R4, leur performance en termes de résistance à la compression peut atteindre 54 Mpa et 2 Mpa pour l'adhérence [11].

Notons enfin que, compte tenu de leur caractère écologique et de leur faisabilité économique et de bonnes propriétés mécaniques, les fibres naturelles ont émergé comme une solution alternative à de nombreuses fibres synthétiques. Les applications, des mortiers de réparation avec insertion des fibres naturelles, semble devenir une solution respectueuse dans l'ingénierie de renforcement/réhabilitation. Toutes les caractéristiques avantageuses correspondant à l'utilisation de fibres naturelles ont attiré l'attention sur la possibilité d'engager dans la réparation structurelle des constructions historiques (architecturales, en maçonnerie ou en béton). Les fibres dérivées des plantes sont les plus largement étudiées et utilisées pour les matériaux de construction [11]

### **I.5.Conclusion :**

Ce chapitre a présenté la définition du béton armé et dans quoi il est utilisé, le patrimoine des structures en béton armé en Algérie (les différents ouvrages en béton armé en Algérie), et il parle aussi de certaines techniques de réparation ou de renforcement en cas de dégradations des ouvrages en béton armé. Et en dernier des définitions du mortier et du mortier de réparation.

## Les Fibres destinées pour les béton et mortiers

### II.1. Préambule

Les fissures dans les structures en béton sont inévitables. Ces fissures résultent généralement d'un mauvais mélange de béton, de la mauvaise conception, des surcharges excessives, de la corrosion, à l'exposition à des températures élevées, à la vitusté des matériaux, aux retraits, etc. Beaucoup de pays programment des investissements budgétaires importants pour l'entretien et la réparation des ouvrages, surtout stratégiques. Ces investissements sont, généralement, le fruit d'une réflexion sur le meilleur choix de la technique de réparation et de maintenance. On observe dans les structures en béton, mais aussi dans les interventions de réparation, des affectations engendrées par la régression de la réparation effectuée et des mauvais ajustements, qui augmentent la vulnérabilité de la réparation aux attaques environnementales et les processus internes de dégradations chimiques et physiques. Il s'avérât que la technique de renforcement par des fibres naturelles est un moyen efficace d'améliorer la durabilité du béton. Les fibres peuvent diminuer la croissance des fissures, augmenter la résistance aux chocs et à la fatigue, contrôler la perméabilité sous pression et réduire le saignement, ainsi que, le retrait et la fissuration thermique. Des études sporadiques ont montré que la liaison substrat-réparation est également améliorée par ajout de fibres renforcées au matériau de réparation [12]. Les travaux de recherche sur la caractérisation des fibres végétales ont pris de l'importance ces dernières années et en particulier, l'insertion des fibres naturelles dans les matériaux cimentaires, qui peuvent contribuer à l'amélioration des propriétés technologiques et des questions environnementales liées à la réutilisation des déchets agro-industriels [13].

### II.2 Définition et différents types de fibres

#### II.2.1 Définition

Le terme "Fibre" se rapporte à un corps solide flexible, de forme sensiblement cylindrique, d'un diamètre de quelque centimètre dont la longueur égale à quelques milliers de fois ce diamètre. Ce terme est généralement aussi utilisé pour définir le constituant élémentaire des structures textiles. Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte (20 à 150 mm), de la fibre de grande longueur ou filament continu [14].

#### II.2.2 Différents types de fibres

La littérature, montre l'existence de différents types de fibres, actuellement disponibles et qui peuvent être classées, selon leur origine, en trois grandes familles de fibres [15], qui sont :

- Fibres synthétiques d'origine minérale, telles que : le verre, le carbone, les fibres métalliques ;
- Fibres synthétiques organiques : polyamides, polypropylène, acrylique, kevlar, aramide ;
- Fibres naturelles minérales et végétales : amiante, cellulose.

### a/ Fibres synthétiques d'origine minérale

#### - Fibres de verre :

Leurs applications, dans les panneaux de revêtement de façade, découlent de la possibilité qu'offre la fabrication par projection de donner au produit l'aspect (couleur, texture de la surface) désiré par l'architecte et de pouvoir enrober des âmes isolantes avec des techniques complémentaires (emboutissage, pressage) (Figure II.1).



Figure II.1: Vue microscopique des Fibres de verre.

#### - Fibres de Carbone :

Suivant les conditions de fabrication, il existe toute une variété de fibres de carbone. Cependant, actuellement trois types de fibres sont commercialisés, qui sont : les fibres hautement résistants (H.R), les fibres à module intermédiaire (I.M.) et les fibres à haut module (H.M). Les fibres de carbone sont très fragiles ce qui rend l'opération de malaxage du mortier de ces fibres très difficiles (Figure II.2)

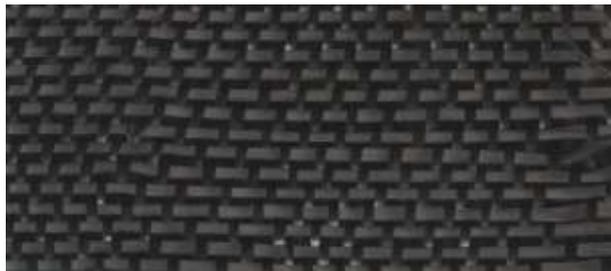


Figure II.2 : Tissu de fibres de carbone. [16]

#### - Fibres métalliques

Ce type de fibres, regroupant les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été et reste encore l'objet de recherches très importantes dans le monde [17]. On se limite aux fibres d'acier qui sont sans doute les plus utilisées dans le domaine du génie civil (Figure II.3).



Figure II.3: Vue des fibres métalliques.

**b/ Fibres synthétiques organique****- Fibres d'amiante**

Ces fibres sont considérées comme les renforcements les plus anciens des matrices cimentaires est aussi pour la confection de tissus résistants aux feux. Elles sont en fait des bâchettes de micro- fibres extrêmement fines, difficilement fusible (vers 1500 °C et ont l'avantage d'être inattaquables par les ciments. Elles possèdent un excellent tenu au feu, une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé. Elles sont aussi plus résistantes agressions chimiques et micro-organismes, ainsi que leur résistance électrique élevée. Les fibres d'amiante sont utilisées dans les applications suivantes : voiles, tuyaux, panneaux, matériaux d'isolation thermique et protection contre le feu, tuyaux d'égout, plaques de toitures plates et ondulées, ainsi que les revêtements de mur (Figure II.4).



Figure II.4 : Vue de Fibres d'amiante.

**- Fibres polypropylènes**

Ces fibres obtenues par extrusion du polypropylène, se présentent en faisceaux ou sous forme de filament individuel. Lorsqu'elles sont utilisées sous forme de faisceaux, elles se séparent lors de malaxage. Ces fibres présentent plusieurs avantages, tels que : l'amélioration de la maniabilité et de la cohésion du mortier. Elles sont, aussi, particulièrement souples et insensibles chimiquement mais peu résistantes au feu (température de fusion comprise entre 140 à 170°C). Les propriétés des fibres polypropylène sont intéressantes pour les pièces à démoulage immédiat (meilleur comportement au jeune âge). Elles améliorent l'aspect et la précision des angles, des tranches ou des arêtes des pièces moulées. Elles permettent de réaliser des parements esthétiques, avec des motifs très précis, et sont utilisées aussi pour la formulation des mortiers de réparation (Figure II.5).



Figure II.5 : Fibres polypropylène en vue microscopique.

### c/ Fibres naturelles

Il ya une diversité de fibres naturelles, qu'on peut les classées, généralement, en fonction de leurs origines (animale, végétale ou minérale). Les fibres d'origine végétale sont constituées majoritairement de cellulose et possèdent des propriétés mécaniques supérieures à celles d'origine animale. Les différents types de fibres naturelles sont présentés sur la figure II.6.

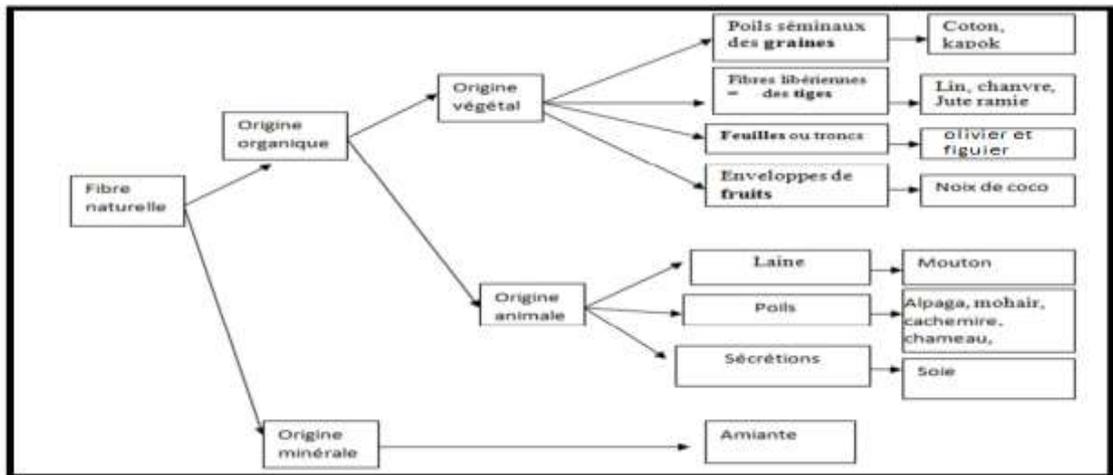


Figure II.6 : Organigramme des différents types de fibres naturelles. [18]

On peut distinguer de la cette catégorie, ce qu suit :

#### - Fibres végétales

La principale fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis. Les fibres végétales, résistent aussi à la plupart des acides organiques, mais sont détruites par les acides minéraux forts. Il existe quatre sortes de fibres végétales : les fibres provenant des poils, les fibres du liber, et les fibres extraites des troncs de certaines graminées. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction. Nous pouvons subdiviser les fibres végétales en 5 groupes selon leur origine (Figure 7), qui sont : les fibres provenant des poils séminaux de graines (coton, kapok), les fibres libériennes extraites de liber de plantes (lin, chanvre, jute, ramie), les fibres extraites de feuilles (sisal, abaca), les enveloppes de fruits (noix de coco) et les fibres dures extraites des tiges de plantes.

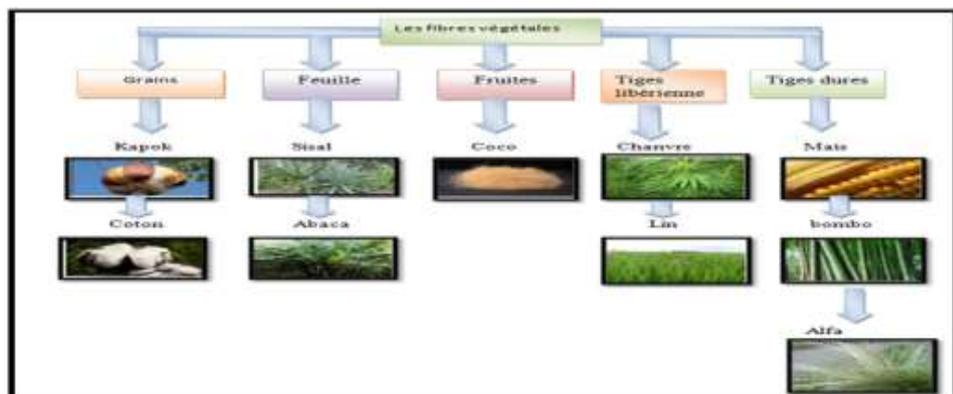


Figure II.7. Classification des fibres végétales selon l'origine. [15]

Les fibres végétales, les plus utilisées, dans l'industrie, sont les fibres libériennes, comme le Kenaf, le jute, la ramie, le palmier et surtout le chanvre et le lin [19]. L'abaca ou chanvre de manille est un bananier textile (Musacées) qui pousse aux philippines : les fibres dans les gaines foliaires forment un pseudo tronc très recherché pour la fabrication de cordages légers et insubmersibles, et aussi de rabanes, nappes, stores, vêtements (Figure II.8) [20]



Figure II.8. Fibres de l'abaca.

Pour le lin, qui est une plante annuelle qui pousse dans le monde entier, aussi bien en Asie qu'en Europe, cette fibre de lin vient des tiges de la plante mais aussi de l'huile extraite des graines (Figure II.9). L'avantage de cette fibre est sa longueur élevée, en moyenne 25 mm et sa bonne résistance. Le lin peut être utilisé comme substitut au coton. Cette fibre est utilisée pour fabriquer des papiers fins comme les papiers à cigarette ou le papier bible [19].



Figure II.9 Vue de fibres de lin.

Le chanvre, quand à lui, est une fibre libérienne, tout comme le lin, le kenaf, le jute et la ramie. Les plantes de cette famille présentent toutes des fibres externes longues et étroites et des fibres internes ligneuses (Figure II.10). Par ses possibilités techniques, la fibre de chanvre répond à des besoins textiles traditionnels tout en ouvrant la voie à une foule d'innovations [19].



Figure II.10. Fibres de chanvre.

Pour ce qui est du cotonnier, qui est un petit arbuste annuel de 1 à 1,50 m de haut (Figure II.11), il est cultivé dans les zones chaudes d'Amérique, d'Afrique, d'Asie et mêmes d'Europe (Espagne). Les fibres de coton proviennent des graines, et sont appelés linters. Cette fibre est utilisée pour ses bonnes caractéristiques physiques et mécaniques (Figure II.11).



Figure II.11. Fibres de coton.

Enfin le Kenaf, est une plante herbacée dont la tige peut atteindre 3 m de haut, qui se trouve principalement dans les régions tropicales et en Amérique du sud. Elle est destinée uniquement pour le domaine papetier. La longueur moyenne des fibres (1,5 mm) est comprise entre celle des fibres de feuillus et celle des fibres de résineux [19].



Figure N°12. Fibres de kenaf.

### II.3 Fibres naturelles en Algérie et applications

L'Algérie, par sa diversité climatique, est riche en matériaux naturels, qui peuvent être utilisés directement dans le domaine de la construction. Il faudrait bien étudier leurs propriétés afin d'étendre leur utilisation [20]. L'utilisation des fibres végétales dans le renforcement des matériaux de construction pour améliorer certaines propriétés, c'est la technologie la plus utilisée actuellement, à cause de ces résultats et pour élargir l'utilisation des éco-matériaux. L'Algérie dispose de sources illimitées de fibres végétales (palmier, alfa abaca, figuier, oliviers, chanvre, coton ...), mais leur utilisation dans le domaine de la construction est presque inexistante. L'incorporation des fibres d'olivier, de palmier dattier, de figuier, dans les mortiers de ciment, les mortiers de plâtre et les bétons, est réalisée afin d'améliorer la résistance à la traction et de diminuer la fragilité.

L'hypothèse importante que les fibres permettent l'arrêt du mécanisme de fissuration, en retardant le départ de la fissure et en la contrôlant une fois qu'elle apparaît. En effet, les feuilles d'olivier sont opposées, ovales allongées, portées par un court pétiole, coriaces, entières, enroulées sur les bords, d'un vert foncé luisant sur la face supérieure, et d'un vert clair argenté avec une nervure médiane saillante sur la face inférieure. Le feuillage est persistant, donc toujours vert, mais cela ne veut pas dire que ses feuilles sont immortelles. Aussi, ces feuilles vivent en moyenne trois ans puis jaunissent et tombent, principalement en été [21]. Dans les localités du nord Algérien, la région d'Ouled Yaich à Blida, dont la récolte des échantillons destinés pour notre étude, est très riche de variétés d'olivier (Figure II.13).



Figure II.13. Feuilles d'olivier de la région de Blida.

La composition chimique des feuilles varie en fonction de nombreux facteurs: conditions climatiques, époque de prélèvement, âge des plantations, variétés. Les feuilles sont particulièrement riches en carbo-hydrates et la matière organique est constituée par des protéines, des lipides, des monomères et polymères phénoliques (tel que les tannins) et principalement par des polysaccharides (telles que la cellulose et l'hémicelluloses). La teneur en protéine est faible dans les feuilles d'olivier. Pour la composition en minéraux des feuilles d'olivier, le Tableau II.1 illustre la composition détaillée, ou le minéral le plus abondant dans les feuilles est le fer avec une concentration de 273 g/ Kg de matière sèche. Pour différents chercheurs, la composition, exprimée en g/100g, est variée [21].

Tableau II.1 : Composition chimique global des feuilles d'olivier. [21]

Composition (en %)	Boudhrioua et al., 2009	Erbay et Iciar, 2009	Martin-Garcia et al., 2006	Garcia-Gomez et al., 2003	Fegeros et al., 1995
Eau	46,2-49,7 a	49,8 a	41,4 a	nd	44,0 a
Protéines	5,0-7,6 a	5,4 a	7,0 b	nd	nd
Lipides	1,0-1,3 a	6,5 a	3,2 b	6,2 b	nd
Minéraux	2,8-4,4 a	3,6 a	16,2 b	26,6 b	9,2 b
Carbohydrates	37,1-42,5 a	27,5 a	nd	nd	nd
Fibres brutes	nd	7,0 a	nd	nd	18,0 b
Cellulose	nd	nd	nd	19,3 b	11,4 b
Hémicellulose	nd	nd	nd	25,4 b	13,3 b
Lignin	nd	nd	nd	30,4 b	14,2 b
Polyphénols totaux	1,3-2,3 b	nd	2,5 b	nd	nd
Tannins solubles	nd	nd	nd	nd	0,3 b
Tannins condensés	nd	nd	0,8 b	nd	1,0 b

Pour la composition en acides aminés, le tableau II.2, donne les concentrations de ces derniers dans les feuilles d'olivier frais (exprimé en g par Kg d'azote total) [22].

Tableau II.2 : Composition chimique en acides aminés des feuilles d'olivier. [22]

Acides aminés	Concentration
Acide aspartique	27,5
Acide glutamique	35,1
Serine	44,5
Glycine	79,6
Histidine	25,4
Arginine	162,0
Threonine	46,8
Alanine	73,8
Proline	84,2
Tyrosine	32,3
Valine	74,8
Méthionine	5,3
Cystéine	1,6
Isoleucine	58,8
Leucine	104
Phénylalanine	51,8
Lysine	19,1
Acides aminés essentiels	547
Acides aminés non essentiels	379
Acides aminés totaux (sans tryptophane)	926

Concernant, la composition en minéraux des feuilles d'olivier (exprimé en g par Kg de matière sèche), Fegeros and al. [23], ont présenté les différentes concentrations des minéraux se trouvant dans les feuilles d'olivier (Tableau II.3).

Tableau II.3. Concentration des minéraux dans les feuilles d'olivier. [23]

Minéraux	Concentration
Calcium (Ca)	12,7
Phosphore (P)	2,1
Manganèse (Mg)	1,9
Potassium (K)	6,3
Fer (Fe)	273,0
Cuivre (Cu)	10,7
Zinc (Zn)	21,3
Magnésium (Mn)	50,0

Pour les feuilles du figuier, qui sont de grandes tailles, pétiolées, palmatilobées (3 à 5 ou 7 lobes) et alternées. Elles ont un aspect rugueux à la face supérieure, et velouté à la face inférieure en raison de la présence de petits poils. Ces feuilles présentent des nervures principales marquées et la surface supérieure est de couleur vert plus foncé que celle de la face inférieure [24].

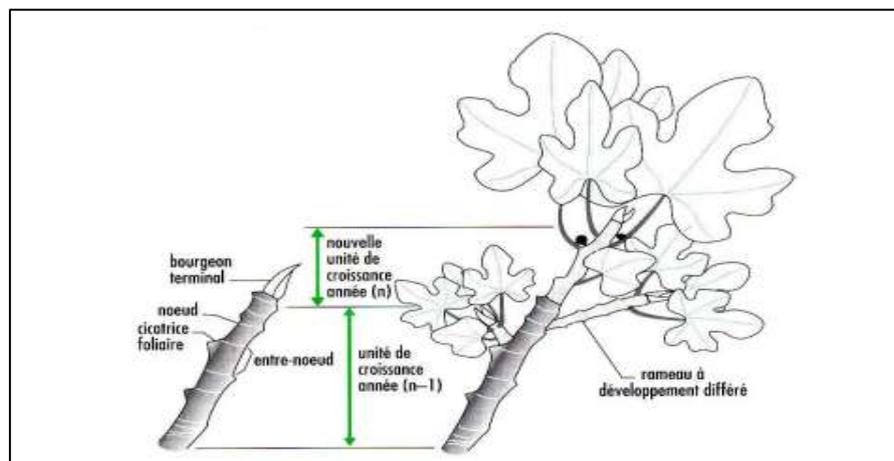


Figure II.14. Feuilles de figuier et leurs composants. [24]

## Historique des d'application fibres et la confection des éprouvettes

### III.1. Historiques des fibres

Des analyses profondes de ce concept indiquent que cette idée est très ancienne et date depuis l'Antiquité. En effet les pharaons (les Egyptiens ancien) ont pensé à l'idée des pailles pour renforcer la brique de boue d'après le chercheur Exode comme il est le cas Finlandais utilisant pour la 1re fois, les fibres d'amiante dans le renforcement des poteries en argile, il y'a de cela 5000 années. D'autres sources ANTOINE, E.N Mars 1985 et ACI COMMITTEE 554 Mars-Avril 1984 ont indiqué que l'usage de cette technique par le biais de pailles afin de renforcer les briques, tandis que les poils des animaux et les fibres pour renforcer le plâtre et la pâte de ciment. On peut noter aussi la réalisation, au milieu du XX é siècle, d'alliages métalliques avec fibre de carbone.

M. BRAUN et d'autres chercheurs, ont rapporté que la paille a été rajoutée dans des matériaux de construction tels que le mortier. Le plâtre...etc. [25]

Ensuite plusieurs chercheurs ont fait des études à la base des hypothèses sur l'idée de l'ajout et l'incorporation des fibres dans le béton pour le but de développement des théories réglementaires à la base des essais pratiques. En 1847, JOSEPH LAMBOT, en 1874 l'américain A.BERNARD, en 1899 LHATSHELS, en 1910 J.PORTER, en 1911 J.GRAHAM, en 1912 WEAKLY, en 1914 FICKLEY, en 1920 KLEINLOGEL, en 1938 N.ZITEVIC, en 1943 G.CONSTANTINESCO, en 1963 ROMAULDI et BATON. [26]

À partir des années 1970, il s'est produit une sorte de réveil dans le domaine de la technique des bétons renforcés de fibres d'acier. La confiance acquise dans certaines propriétés spécifiques de béton renforcée de fibres d'acier augmente de façon permanente par l'utilisation de ces bétons dans des applications industrielles.

Le premier article dans ce concept peut être attribué à LANKARD et SHEETS. Dans cet article, ils ont confirmé que l'ajout de 1% à 2% de fibres au béton réfractaires donne une amélioration significative à sa résistance.

#### III.1.1. Les fibres

Les fibres sont définies comme des éléments discontinus, de nature variable, des formes sensiblement cylindriques, d'un diamètre et longueur variable. Elles sont réparties dans la matrice soit d'une façon aléatoire ou orientation préférentielle.

Il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par leur origine (naturelles, artificielles et synthétiques), leur forme (droite, ondulée, bi-ondulée, l i s s e , c r a n t é e , a i g u i l l e , à crochet, mince des cônes aux extrémités ...etc.), leur dimension (macro ou micro - fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour des applications, il est nécessaire de tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et la mode de performance du composite.

Les principales familles de fibres connues sont :

- les fibres minérales : fibres d'amiante, alumine, basalte, mica, ...ect).

- les fibres végétales : -fibres cellulose et fibres provenant de poils, liber, bois, palmier...ect).
- les fibres synthétiques : -nylon, polypropylène, acrylique, polyester, polyamide, mélange polypropylène/polyéthylène, kevlar, aramide...ect).
- les fibres artificielles : -fibres de verre, carbone, acier, fonte amorphe...etc.

Les principales fibres utilisées sont :

- fibres d'amiante.
- fibres cellulose.
- fibres polypropylènes.
- fibres de verre.
- fibres métalliques.



Figure III.1 : Fibres polypropylènes.

Figure III.2 : Fibres métalliques.



Figure III.3. Fibres en caoutchouc.



Figure III.4. Fibres de palmier

### III.1.2. Le rôle des fibres dans le béton:

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer le béton et améliorer le comportement du béton essentiellement en traction, et en s'opposant à la propagation des microfissures. Elles peuvent également dans certaines applications remplacer les armatures passives (les ouvrages minces).

Selon les fibres utilisées (forme et nature) et les ouvrages auxquels elles sont incorporées, ce rôle se traduit par des améliorations relatives a :

- -la cohésion du béton frais.
- la déformabilité avant rupture.
- la résistance à la traction.
- la ductilité et la résistance contre les fissures.
- la résistance aux chocs.
- la résistance à la fatigue.
- la résistance à l'usure.
- la résistance mécanique du béton aux jeunes âges.
- la réduction des conséquences du retrait par effet de couture des microfissures.
- la tenue au feu.
- La résistance à l'abrasion. [27]

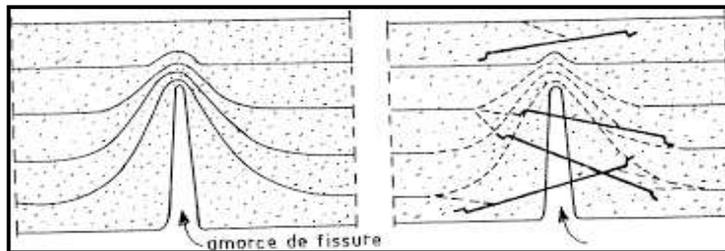


Figure III.5: Schémas descriptif comment les fibres couvrent les microfissures.

### III.2. Confection des éprouvettes

Les essais sur éprouvettes pratiqués couramment pour quantifier la qualité du béton sont parfois dispersés, voire non concordants avec ceux obtenus par un autre laboratoire. Ceci peut amener une décision de non-conformité des performances des produits alors qu'en fait, c'est un déroulement anormal des modalités d'essais qui conduit à un résultat d'essai dégradé.

De fait, si le processus d'essais est mal maîtrisé, le laboratoire peut rencontrer des difficultés à démontrer la conformité du béton testé. Les sources d'erreur sont souvent multiples, liées, par exemple, aux conditions de préparation et de conservation des éprouvettes, au mode opératoire et/ou à la machine d'essais. [28]

### III.2.1. Échantillonnage :

Des précautions sont à prendre lors du prélèvement du mortier pour la confection des éprouvettes.

La quantité de mortier frais prélevé doit être supérieure à 1,5 fois la quantité nécessaire pour la réalisation des éprouvettes.

Pour que les résultats d'essais soient représentatifs d'une qualité de mortier, il convient de veiller à ce que les éprouvettes soient confectionnées à partir d'une même gâchée de mortier. Cette précaution a pour but d'obtenir des éprouvettes homogènes. En outre, il est indispensable de ré homogénéiser l'échantillon de mortier destiné à la confection des éprouvettes. Si le mortier est déversé directement dans les moules, il en résultera, pour certaines éprouvettes, une consistance hétérogène du mortier qui remet en cause la validité des essais ultérieurs (sous-estimation des résistances jusqu'à 60 %). [29]



Figure III.6 : Mortier frais.

### III.2.2 Influence de la dimension des éprouvettes :

Lors d'une comparaison entre les résultats d'essais sur éprouvettes, il convient bien entendu de vérifier la nature des éprouvettes testées par les laboratoires : cylindres, cubes, moulées ou carottées...

#### III.2.2.1. Corrélations entre éprouvettes moulées :

Différentes dimensions des éprouvettes sont décrites dans les normes de référence.

Les coefficients ci-dessous permettent d'établir une correspondance entre les résultats obtenus d'un type d'éprouvette vers un autre pour des essais à 28 jours. Ils sont issus de l'amendement national à la norme NF EN 206-1 et sont repris dans la norme NF EN 13369 - Règles communes pour les produits préfabriqués en béton.

Tableau III.1 : Équivalence des résistances obtenues sur cubes de 100 et cylindre  $\varnothing$  113 mm et  $\varnothing$  150 mm.

**R** : résistance de l'éprouvette testée

Selon le règlement technique des structures et ossatures CSTBat (1997)

Dimensions des éprouvettes (mm)	Résistance à la compression $f_c$ correspondant à un cylindre de diamètre $\varnothing 160$ mm
Cube 100 x 100	$f_{c,cyl}(\varnothing 160) = 0,90 \times R_{cube}(100)$
Cylindre $\varnothing 113 \times 226$	$f_{c,cyl}(\varnothing 160) = 0,98 \times R_{cyl}(\varnothing 113)$ si $50 \text{ MPa} \leq R_{cyl}(\varnothing 113)$
	$f_{c,cyl}(\varnothing 160) = R_{cyl}(\varnothing 113) - 1$ si $R_{cyl}(\varnothing 113) < 50 \text{ MPa}$
Cylindre $\varnothing 150 \times 300$	$f_{c,cyl}(\varnothing 160) = R_{cyl}(\varnothing 150)$

Le choix de la dimension des éprouvettes conditionne simultanément le diamètre des rehausses, afin de maintenir le même mode de rupture. [30]

Dans notre cas on a utilisé des éprouvettes cubiques (100 x 100 x 100).



Figure III.7 : Essais de compression sur éprouvettes.

### III.2.3. Choix du moule :

Le matériau du moule utilisé influe en termes de rigidité, d'absorption d'eau et de capacité de dilatation.

Un moule rigide se déforme moins durant le durcissement et offre un meilleur support.

Selon NF EN 12390-1, les moules de référence sont les moules en acier. Les moules les plus communément employés sont les moules en carton (non réutilisables).

Quel que soit le matériau utilisé, les moules peuvent souffrir de défauts de circularité. Par exemple, il est rencontré une forme ovale au sommet des moules en plastique ou carton. Cette anomalie conduit à une diminution de la résistance mécanique jusqu'à 10 %. Un contrôle a posteriori peut être réalisé en vérifiant les dimensions des éprouvettes.

En dehors des défauts de forme, il convient de veiller à la propreté des moules utilisés. [30]



Figure III.8 : Moules pour éprouvettes.

#### III.2.4. Serrage à refus du mortier :

Le serrage à refus est obtenu à l'aide d'une action mécanique (aiguille vibrante, table vibrante, tige ou barre de piquage). La durée du serrage est la durée maximale nécessaire pour faire remonter les bulles d'air à la surface du béton jusqu'à l'obtention d'un aspect lisse et luisant, sans ségrégation apparente.

La qualité du serrage a une influence prédominante sur la qualité des éprouvettes obtenues. Le suivi de la masse volumique est, dans ce cas, un indicateur intéressant.



Figure III.9 : Table vibrante.

### III.2.5 Démoulage :

L'essai conventionnel suivant la norme NF EN 12390-2 prévoit une conservation de l'éprouvette pendant 16 heures minimum et 3 jours maximum à une température de  $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .

Le démoulage des éprouvettes doit être effectué avec soin pour ne pas épaufrer les arêtes. Pour faciliter le démoulage, il est d'usage d'appliquer un léger film d'huile sur le moule. Il est à signaler qu'un huilage trop important conduit à une régularité d'aspect des extrémités de l'éprouvette et à des résistances à l'écrasement minorées. [30]



Figure III.10 : Démoulage des éprouvettes.

### III.3 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons résumé, l'état de connaissance sur l'historique et le comportement mécanique des bétons de fibres, les types, et leurs rôles dans le béton (mortier).

Nous avons aussi vu la confection des éprouvettes, la quantité de mortier nécessaire, la façon de remplir l'éprouvette afin de garantir la qualité de l'éprouvette en mortier, la mise en place du mortier dans l'éprouvette par vibration.

## Investigation expérimentale

### IV.1. Introduction

Ce chapitre est consacré pour la présentation de la campagne expérimentale menée. Il s'agit de présenter les matériaux d'essai et les l'instrumentation et appareils utilisés, ainsi qu'à la description des méthodes expérimentales nécessaires aux études.

### IV.2. Les matériaux utilisés

#### IV.2.1 Préambule

Les matériaux utilisés dans le mortier sont cités comme suivant :

- Sable fin de la région HassiBahbah, wilaya de Djelfa.
- Sable de rivière de wilaya de Médéa.
- Ciment portland composé CEM II 42.5.
- Super plastifiant.
- Eau potable.
- Fibres naturelle (les feuilles d'olivier et de figuier).
- 

#### IV.2.2 Le ciment

A cause de sa forte disponibilité sur la marché National et vu notre besoin dans cette partie expérimentale, on a utilisé le ciment dans toutes les phases de notre travail le ciment portland composé (CEM II 42.5) selon la norme (NA 442/2013) [31], provenant de la cimenterie "LAFARGE". Ce ciment est utilisé pour le béton à hautes performances destiné pour la construction des ouvrages d'art, des infrastructures en béton et les diverses superstructures de bâtiments et autres.



Figure IV.1. Ciment utilisé "Matine".[31]

Les caractéristiques physiques et mécaniques du ciment utilisé sont présentées dans les tableaux suivants. Il s'agit de la composition minéralogique du ciment (clinker) (Tableau IV.1) et des valeurs de la résistance à la compression et des propriétés physiques du ciment (Tableau IV.2).

Tableau IV.1 : Composition minéralogique de ciment.

COMPOSITION MINERALOGIQUE DU CLINKER (BOGUE)	VALEUR (%)
SILICATE TRE CALCIQUE (C3S)	<b>60±3</b>
ALUMINATE TRE CALCIQUE (C3A)	<b>7.5±1</b>

Tableau IV.2 : Propriétés mécaniques et physiques du ciment.

LA RESISTANCE A LA COMPRESSION		VALEUR (MPA)
2 JOURS		≤10.0
28 JOURS		≤42.5
Propriétés physiques du ciment		Valeur
Temps de prise à 20° (NA 230)	Début de pris (min)	150±30
	Fin de pris (min)	230±50
Consistance normale (%)		26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (NA231)		3700-5200
Retrais à 28 jours (µm/m)		< 1000
Expansion (mm)		< 3.0

### IV.2.3 Le sable

Pour le sable, on a utilisé deux types : sable de rivière (0/5) et le sable correcteur (0/1) (Figure IV.2).



Figure IV.2 Photos du sable utilisé

#### IV.2.4 L'eau

L'eau utilisée pour la confection de différents mortiers est l'eau potable du réseau (ville de Blida).

#### IV.2.5 Adjuvant

Afin de maintenir l'ouvrabilité du mortier, on a utilisé comme adjuvant le super-plastifiant haut réducteur d'eau, fabriqué par le groupe "Sika", appelé "Sika Visco-Crete TEMPO-12", à base de poly-carboxylates, qui confère au béton prêt. Ceci est conforme à la norme NF EN 934-2. Il est se vend sous forme liquide de couleur marron foncé [32].



Figure IV.3. Adjuvant "Super-plastifiant Sika Visco-crete. [32]

Tableau IV.3 Caractéristiques de l'adjuvant Sika Visco Crete Tempo12. [32]

Aspect / Couleur	Liquide marron foncé
Durée de Conservation	12 mois dans son emballage d'origine intact
Densité	$1,1 \pm 0,02$
Valeur pH	$4,7 \pm 1,0$
Teneur Totale en Ions Chlorure	$\leq 0,1\%$
Dosage	Plage de dosage : 0,5% à 2,0% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées

#### IV.2.6. Les fibres naturelles

Nous avons utilisé deux types de fibre végétale qui sont les feuilles d'olivier et les feuilles de figuier coupées à la main. Les pourcentages des fibres utilisés est 1% et 3% du volume total (Figure IV.4).



Figure IV.4. Formes et natures des fibres utilisées.

Les caractéristiques physiques des fibres (d'olivier et de figuier) utilisées sont illustrées dans les tableaux IV.4 et IV.5.

Tableau IV.4 Caractéristiques physiques des fibres d'olivier.

Propriété	Valeur
Longueur (cm)	1-3
Masse volumique apparente (g /cm <sup>3</sup> )	0.092
Masse volumique absolue (g /cm <sup>3</sup> )	0.59

Tableau IV.5 Caractéristiques physiques des fibres de figuier.

Propriété	Valeur
Longueur (cm)	1-3
Masse volumique apparente (g /cm <sup>3</sup> )	0.083
Masse volumique absolue (g /cm <sup>3</sup> )	0.46



Figure IV.5 Mesure de la masse volumique absolue des fibres.

## IV.3 Déroulement des essais

### IV.3.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

#### IV.3.1.1. Principe de l'essai

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis. Avant l'opération de tamisage, l'échantillon est lavé au-dessus d'un tamis 0.063mm afin d'éliminer les fins et éviter ainsi l'agglomération des grains, ceci pouvant fausser les résultats de l'analyse. L'analyse granulométrique est conduite sur la fraction refusée par le tamis de 0.063mm.

#### IV.3.1.2. Description de l'essai

L'essai effectué passe par les étapes suivantes :

- On laisse sécher la prise d'essai à une température  $(55 \pm 5)^\circ\text{C}$  jusqu'à masse constante  $M_1 = 1000\text{g}$  ;
- On réalise ensuite un tamisage par lavage afin de séparer les éléments de dimension inférieur à 0.063mm ;
- Poursuivre le lavage jusqu'à ce que l'eau passant à travers le tamis 0.063mm soit claire ;
- On laisse sécher l'échantillon après lavage à une température de :  $(55 \pm 5)^\circ\text{C}$  ;
- On laisse refroidir, puis peser jusqu'à masse constante  $M_2 = 935\text{g}$  ;
- Le matériau séché est versé sur une série de tamis choisis de telle manière que la progression des ouvertures soit croissante de bas vers le haut ;
- Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé soit  $R_1$  ;
- Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé soit  $R_2$  la somme de  $R_1 + R_2$  représente le refus cumulé sur le deuxième tamis ;
- Cette opération est poursuivie pour tous les tamis, ceci permet de connaître la masse de refus cumulés  $R_n$ . La somme des refus cumulés mesurés sur les différents tamis et du tamis sur le fond doit coïncider avec le poids de l'échantillon introduit en tête de colonne. La perte éventuelle de matériau pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 1% du poids total de l'échantillon ;
- Calculer le pourcentage des fines (f) passant à travers le tamis de 0.063mm.

La figure IV.6 montre la procédure du tamisage effectuée et le tableau IV.6, donne les résultats de l'analyse granulométrique.



Figure IV.6 Série des tamis et manipulation de l'essai.

Tableau IV.6 Résultats de l'analyse granulométrique.

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus Cumulés (g)	Refus Cumulés (%)	Tamisât Cumulés (%)
5	20.20	20.20	2.02	97.98
4	54.84	75.04	7.50	92.50
3.15	128.68	203.72	20.37	79.63
2.5	110.58	314.30	31.43	68.57
2	84.00	398.30	39.83	60.17
1.25	158.20	556.50	55.65	44.35
1	58.39	614.89	61.49	38.51
0.63	124.05	738.94	73.89	26.11
0.315	147.02	885.96	88.60	11.40
0.16	83.79	969.75	96.98	3.02
0.08	28.68	998.43	99.84	0.16
fond	9.77	1008.2	100.82	
Module de finesse : <b>Mf = 3.49</b>				

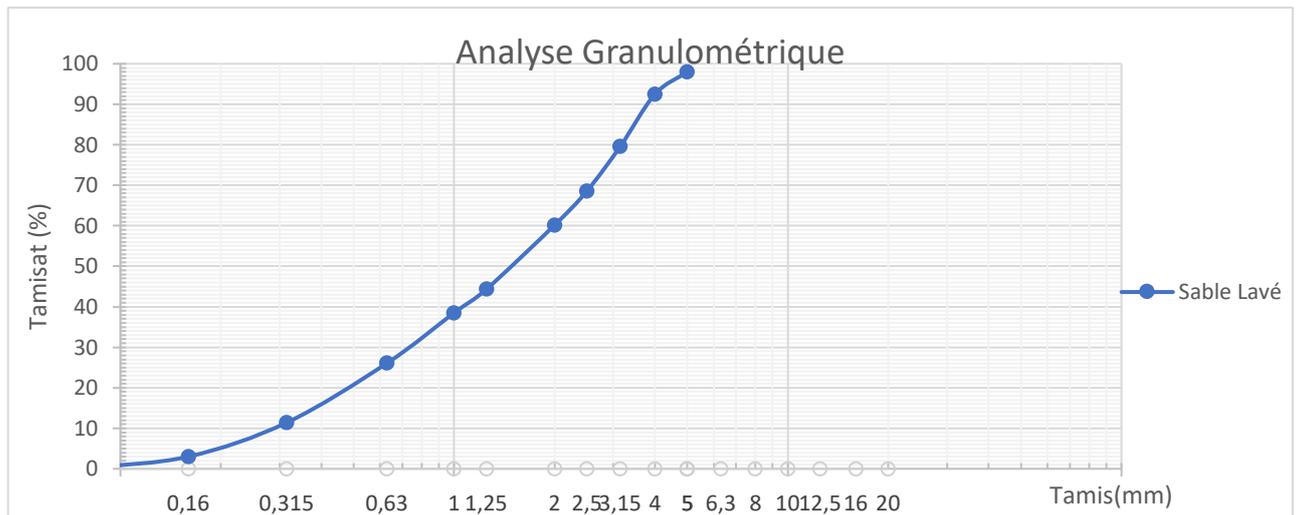


Figure IV.7 Analyse granulométrique du sable 0/5.

Tableau IV.7 Analyse granulométrique du sable Correcteur

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus Cumulés (g)	Refus Cumulés (%)	Tamisât Cumulés (%)
5	0,00	0,00	0,00	100,00
4	0,00	0,00	0,00	100,00
3.15	0,00	0,00	0,00	100,00
2.5	0,00	0,00	0,00	100,00
2	0,00	0,00	0,00	100,00
1.25	0,98	0,98	0,10	99,90
1	2,05	3,03	0,30	99,70
0.63	20,32	23,35	2,34	97,67
0.315	228	251,35	25,14	74,87
0.16	570,56	821,91	82,19	17,81
0.08	153,71	975,62	97,56	2,44
fond	25,09	1000,71	100,07	
<b>Module de finesse : <math>M_f = 1.10</math></b>				

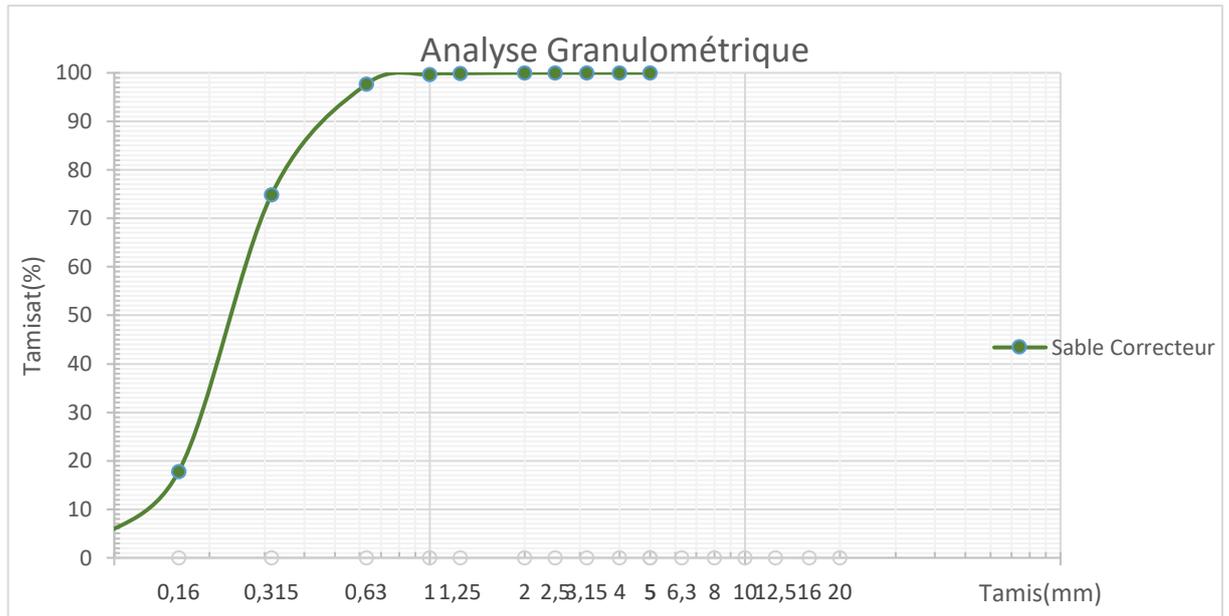


Figure IV.8. Courbe granulométrique de sable correcteur.

### IV.3.2 Équivalent de sable

L'essai d'équivalent de sable, permet de mesurer la propreté d'un sable, et effectuer sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 2mm. Il prend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport, conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent. Valeur de l'équivalent de sable ( $E_s$ ) est le rapport multiple par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du flocculat et de la partie sableuse sédimentée (Figure IV.9).



Figure IV.9 Matériel utilisé pour Mesure des particules fines.

Les résultats des essais effectués pour l'équivalent de sable sont présentés dans les tableaux IV.8 et IV.9.

Tableau IV.8 Équivalent de sable du sable 0/5.

Mesure	Désignation	Essai 01	Essai 02
Hauteur du floculat à la règle (cm)	H <sub>1</sub>	17.2	17
Hauteur du sédiment au piston (cm)	H <sub>2</sub>	8.7	8.7
Equivalent de sable	SE	50.58	51.18
<b>Moyenne</b>		50.88	

Tableau IV.9 Equivalent de sable du sable correcteur.

Mesure	Désignation	Essai 01	Essai 02
Hauteur du floculat à la règle (cm)	H <sub>1</sub>	11.8	11.5
Hauteur du sédiment au piston (cm)	H <sub>2</sub>	7.7	7.4
Equivalent de sable	SE	65.25	63.13
<b>Moyenne</b>		64.19	

### IV.3.3 Les masses volumiques absolues

Les masses volumiques des différents matériaux utilisés sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau IV.10 Masse Volumique Absolue du sable 0/5.

Pesée	Désignation	Essai
Masse matériau (g)	M <sub>2</sub>	500
Masse récipient + eau (g)	M <sub>1</sub>	3474.9
Masse récipient + eau + matériau (g)	M <sub>3</sub>	3784.2
Masse Volumique Absolue (g/dm <sup>3</sup> )	$\rho_{\text{abs}}$	2.62

Tableau IV.11 Masse Volumique Absolue de sable correcteur.

<b>Pesée</b>	<b>Désignation</b>	<b>Essai</b>	
Masse matériau (g)	$M_2$	500	
Masse récipient + eau (g)	$M_1$	379.2	
Masse récipient + eau + matériau (g)	$M_3$	3784.1	
Masse Volumique Absolue (g/dm <sup>3</sup> )	$\rho_{abs}$	2.56	
Masse récipient vide (g)	$M_1$	1325.4	1325.4
Masse récipient plein (g)	$M_2$	4301.8	4284.3
Masse Volumique Apparente (g/dm <sup>3</sup> )	$\rho_{app}$	1.54	1.53
<b>Moyenne</b>		1.535	

#### IV.3.4 Les masses volumiques apparentes

Les tableaux IV.12 et IV.13, concernant les masses volumiques apparentes sont données comme suit :

Tableau IV.12. Masse volumique apparente du sable 0/5.

<b>Pesée</b>	<b>Désignation</b>	<b>Essai 01</b>	<b>Essai 02</b>
Volume (dm <sup>3</sup> )	V	1935	1935
Masse récipient vide (g)	$M_1$	1325.4	1325.4
Masse récipient plein (g)	$M_2$	4301.8	4284.3
Masse Volumique Apparente (g/dm <sup>3</sup> )	$\rho_{app}$	1.54	1.53
<b>Moyenne</b>		1.535	

Tableau IV.13 Masse volumique apparente du sable correcteur

<b>Pesée</b>	Désignation	Essai 01	Essai 02
Volume (dm <sup>3</sup> )	V	1935	1935
Masse récipient vide (g)	M <sub>1</sub>	1325	1325
Masse récipient plein (g)	M <sub>2</sub>	4141.5	4154.3
Masse Volumique Apparente (g/dm <sup>3</sup> )	ρ <sub>app</sub>	1.455	1.462
<b>Moyenne</b>		1.46	

### IV.3.5. Correction du sable

Deux sables sont disponibles, on utilise la règle d'Abrams afin d'avoir un module de finesse optimal MF<sub>opt</sub> = 2,5.

- Sable Lavé 0/5 (S1) ⇒ MF1 = 3.49 (sable grossier).
- Sable de Bah Bah (S2) ⇒ MF2 = 1.10 (sable fin).

La règle d'Abrams est nécessaire afin d'avoir un sable avec un Mf optimal qui vaut 2.5 (NF-EN-12620).

$$\text{Proportion du sable S1} = \frac{M_{\text{fopt}} - M_{f2}}{M_{f1} - M_{f2}} \text{ et proportion du sable S2} = \frac{M_{f1} - M_{\text{fopt}}}{M_{f1} - M_{f2}}$$

$$\text{Soit : } S1 = \frac{2.50 - 1.10}{3.49 - 1.10} = 0.59 \text{ et } S2 = \frac{3.49 - 2.50}{3.49 - 1.10} = 0.41$$

Donc 59% de sable 0/5 et 41% de sable correcteur.

Tableau IV.14. Analyse granulométrique du sable corrigé.

Sable de corrigé				
Tamis [mm]	Refus cumulés (%) sable 0/5	Refus cumulés (%) sable correcteur	Refus cumulés (%) 0.59 sable 0/5+0.41 sable correcteur	Tamisats cumulés (%)
5	2.02	0	1.19	98.81
4	7.50	0	4.41	95.56
3.15	20.37	0	11.96	88.04
2.5	31.43	0	18.46	81.54
2	39.83	0	23.39	76.61
1.25	55.65	0.10	32.72	67.28
1	61.49	0.30	36.24	63.76
0.63	73.89	2.34	44.36	55.64
0.315	88.60	25.14	62.41	37.56
0.16	96.98	82.19	90.87	9.13
0.08	99.84	97.56	98.90	1.10
Fond	99.97	99.20	99.65	0.35
		Mf = 2.50		

## IV.4. Préparation des mortiers

### IV.4.1. Dosage du mortier

On a préparé trois (3) moules d'un mortier normal, pour les 3 moules on pèse les constituants suivants :

- Sables 5400g
- Ciment 1800g
- Eau de gâchage 900g
- Superplastifiant 9g.

### IV.4.2. Dosage des fibres

- **Pour les fibres d'olivier :**

1% de fibres pour 3 moules on pèse 17.7g.

3% de fibres pour 3 moules on pèse 53.1g.

- **Pour les fibres de figuier :**

1% du fibre pour 3 moules o pèse 13.8g.

3% du fibre pour 3 moules o pèse 41.4g.

#### IV.4.3. Malaxage du mortier

On introduit le ciment et le sable dans le malaxeur et les fibres, on met le malaxeur enmarche à vitesse lente, après on introduit l'eau et superplastifiant pendant 2 min, on arrête le malaxeur 15s pour racler le mortier rapidement et le placer au milieu du cuve, puis on redémarre le malaxeur jusqu'à terminer les 05 min de malaxage (Figure IV.10).



Figure IV.10 Cuve pour malaxer les matériaux.



Figure IV.11. Préparation du mortier à fibres.

#### IV.4.4. Préparation des éprouvettes

Les étapes de confection des éprouvettes sont les suivantes :

- On utilise des moules prismatiques de dimension  $10 \times 10 \times 10$  cm ;
- On les étale avec l'huile pour faciliter le démoulage ;
- On verse le mortier dans les moules ;
- On remplit les éprouvettes puis on les vibre pour éliminer les bulles d'air.



Figure IV.12 Les moules prismatiques de dimension  $10 \times 10 \times 10$  cm.

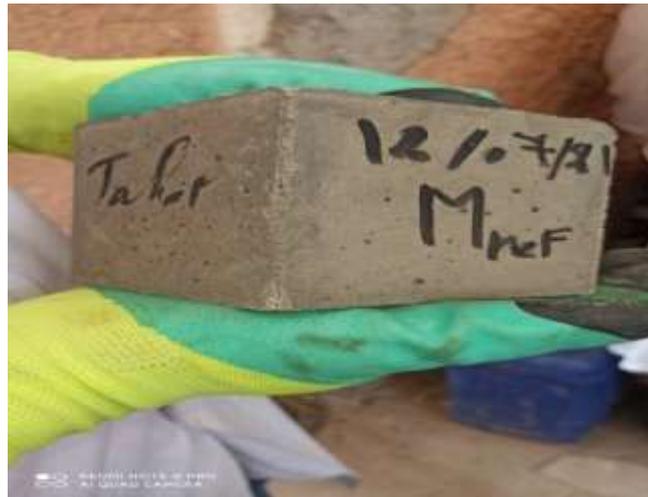


Figure IV.13. Vue sur l'éprouvette du mortier témoin.

Afin d'obtenir une résistance suffisante au jeune âge et pouvoir décoffrer, les éprouvettes ont été démoulées 24 heures après le coulage, période durant laquelle toute évaporation d'eau a été évitée. Après démoulage, les éprouvettes ont été conservées dans un bassin rempli d'eau jusqu'au moment de l'essai de compression.



Figure IV.14 Bassin de conservation des éprouvettes.

### IV.5 Essai de compression

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression du mortier, qui peut être mesurée en laboratoire sur des cubes. Le cube étudié est soumis à une charge croissante jusqu'à la rupture. La machine d'essai qui est une presse de force et de dimension appropriées à le cube à tester et répondant aux prescriptions de norme NF EN 12390-5.



Figure IV.15 Machine de compression hydraulique.

### IV.6. Conduite des essais

La conduite des essais a passé par les étapes suivantes :

- Nettoyer les plateaux de la presse.
- Mettre le disque plane pour que le cube puisse atteindre le plateau supérieur.
- Mettre en place le cube au centre du disque.
- Presse en mode automatique.

En conclusion de chapitre, nous pouvons dire que nous présenté l'ensemble de méthodes expérimentales, caractéristiques des matériaux utilisés, la composition et la préparation des mélange qui nous permettre du bien étudier les résultats et connaître l'effet des fibres d'olivier et figuier sur le comportement mécanique de mortier.

## Présentation des Résultats et Discussion

### V.1. Introduction :

Après avoir caractérisé les matériaux utilisés à l'étude du mortier présenté au chapitre IV. La procédure proposée pour le malaxage des constituants et le déroulement de travail expérimental sont identiques pour tous les bétons étudiés afin de faciliter la comparaison entre les différents mortiers en basant sur l'effet de la présence des fibres d'oliviers et des figuiers dans le mortier et la variation de dosage sur la résistance mécanique à la compression.

Après vingt huit jours de condition de cure les échantillons sont écrasés pour avoir la résistance en compression simple.

On s'intéresse dans cette étude seulement à la mesure des **résistances à la compression** des mortiers fibrés.

### V.2. Résistance en compression :

Les essais de compression sont exécutés selon la norme (NF P 18-411) et (NF P 18-412) sur des éprouvettes cubiques (10 cm x10 cm x10 cm).

Les mortiers utilisés pour la confection de ces éprouvettes sont des mortiers ordinaires témoins (MR), des mortiers avec fibre oliviers de dosage 1% (MFO1) et de dosage 3% (MFO3), des mortiers avec fibre de figuiers de dosage 1% (MFF1) et de dosage 3% (MFF3), avec super-plastifiant.



Figure V.1 : La fragilité de mortier non fibré.

Les résultats des résistances mécaniques à la compression de mortier étudiés en 28 jours sont présentés comme suivant :

**Tableau V.1** : Résistance à la compression des mortiers avec 1% de fibres d'olivier et de figuier.

	La force maximale (kN)	La contrainte (MPa)	La contrainte caractéristique (MPa)
<b>Mortier de référence (MR)</b>	<b>336.566</b>	<b>33.657</b>	<b>38.87</b>
	<b>290.546</b>	<b>29.054</b>	
	<b>298.997</b>	<b>29.898</b>	
<b>Mortier avec fibre d'olivier 1% (MFO1)</b>	<b>223.656</b>	<b>22.366</b>	<b>21.96</b>
	<b>299.984</b>	<b>22.998</b>	
	<b>205.421</b>	<b>20.542</b>	
<b>Mortier avec fibre de figuier 1% (MFF1)</b>	<b>225.697</b>	<b>22.570</b>	<b>22.06</b>
	<b>200.998</b>	<b>20.100</b>	
	<b>235.291</b>	<b>23.525</b>	

Exemple de détermination de la résistance caractéristique à 28j :

La contrainte moyenne :

$$\sigma'_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^3 \sigma_i}{3} = \frac{33.657 + 29.054 + 29.898}{3} = 30.87 \text{ MPa}$$

L'écart type :

$$S = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (\sigma_m - \sigma_i)^2}{n-1}} = 2.45 \text{ MPa.}$$

$$\sigma'_{28} = \sigma'_{moy} - 0,8 \times S = 30.87 - 0,8 \times 2.45 = 21.96 \text{ MPa.}$$

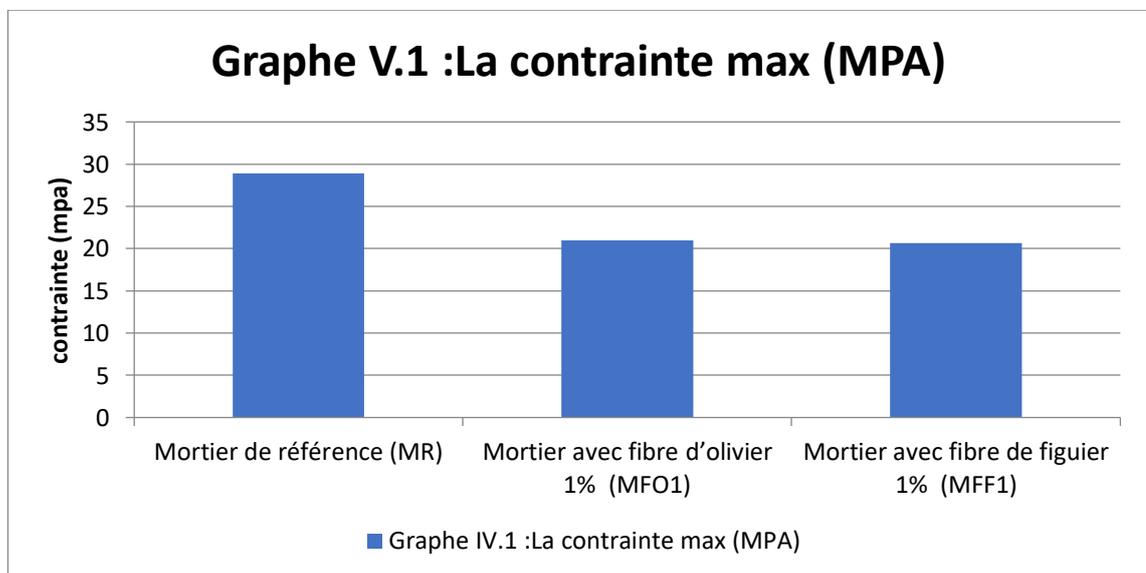


Figure V.2 Résistance à la Compression de (MR), (MFO1) et (MFF1).

Commentaire :

Les résultats ont montré que la résistance à la compression des mortiers avec 1% de fibre d'olivier (MFO1) et de figuier (MFF1) diminue par rapport au mortier de référence (MR).

L'augmentation de dosage des fibres diminue la résistance à la compression.

On constate que la résistance à la compression du mortier avec fibre de figuier (MFO1) est légèrement supérieure à la résistance à la compression du mortier avec fibre d'olivier (MFF1).

(La contrainte max (MFO1) = 20.95 MPA ; La contrainte max (MFF1) = 20.65MPa)

**Tableau V.2 :** Résistance à la compression des mortiers avec 3% de fibres d'olivier et de figuier.

	La force maximale (KN)	La contrainte maximale (MPA)	La contrainte caractéristique (MPa)
<b>Mortier de référence (MR)</b>	<b>336.566</b>	<b>33.657</b>	<b>30.87</b>
	<b>290.546</b>	<b>29.054</b>	
	<b>298.997</b>	<b>29.898</b>	
<b>Mortier avec fibre d'olivier 3% (MFO3)</b>	<b>129.485</b>	<b>12.949</b>	<b>12.29</b>
	<b>104.377</b>	<b>10.438</b>	
	<b>134.977</b>	<b>13.500</b>	
<b>Mortier avec fibre de figuier 3% (MFF3)</b>	<b>140.372</b>	<b>14.037</b>	<b>13.27</b>
	<b>138.195</b>	<b>13.819</b>	
	<b>119.55</b>	<b>11.955</b>	

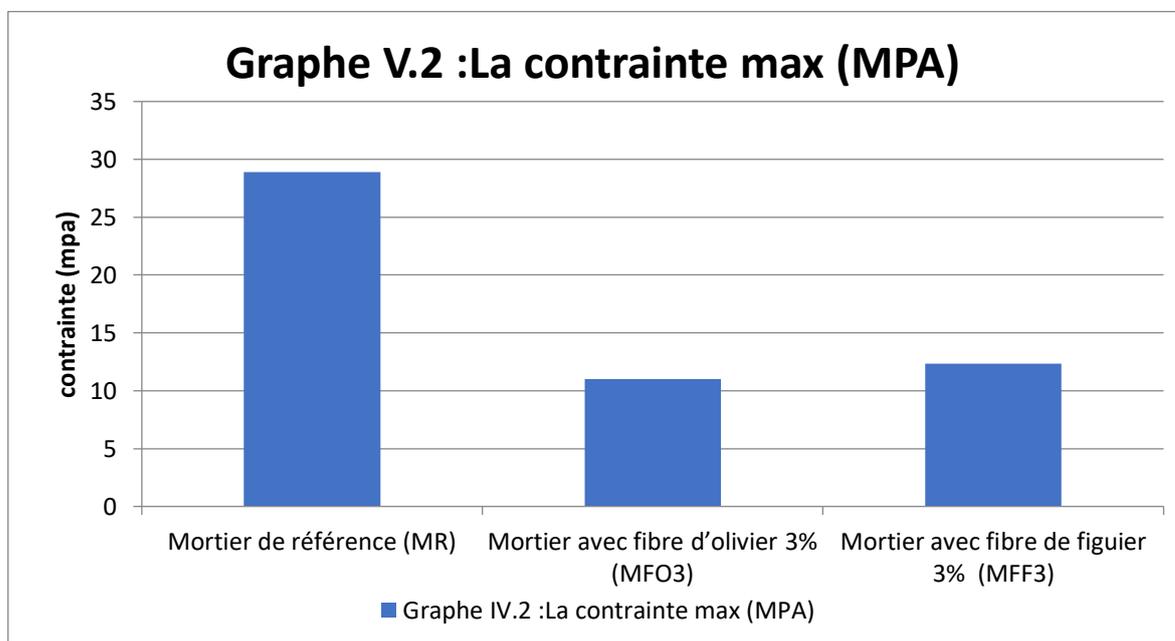


Figure V.3 Résistance à la Compression de (MR), (MFO3) et (MFF3).

Commentaire :

Les résultats ont montré que la résistance à la compression des mortiers avec 3% de fibre d'olivier (MFO3) et de figuier (MFF3) diminue par rapport au mortier de référence (MR).

L'augmentation de dosage des fibres diminue la résistance à la compression.

On constate que la résistance à la compression du mortier avec fibre de figuier (MFF3) est supérieure à la résistance à la compression du mortier avec fibre d'olivier (MFO3).

(La contrainte max (MFO3) = 11 MPa ; La contrainte max (MFF3) = 12.35MPa)

**V.3. La masse des mortiers :**

Les masses des mortiers varie entre mortiers ordinaires témoins (MR), des mortiers avec fibre oliviers de dosage 1% (MFO1) et de dosage 3% (MFO3), des mortiers avec fibre de figuiers de dosage 1% (MFF1) et de dosage 3% (MFF3), avec super-plastifiant.

Les masses de mortier étudiées en 28 jours sont présentés comme suivant :

**Tableau V.3 :** La masse des mortiers avec 1% de fibres d'olivier et de figuier.

	<b>La masse (g)</b>	<b>La masse moyenne (g)</b>
<b>Mortier de référence (MR)</b>	<b>2299.3</b>	<b>2301.3</b>
	<b>2317.1</b>	
	<b>2287.5</b>	
<b>Mortier avec fibre d'olivier 1% (MFO1)</b>	<b>2247.8</b>	<b>2246.67</b>
	<b>2250.3</b>	
	<b>2241.9</b>	
<b>Mortier avec fibre de figuier 1% (MFF1)</b>	<b>2216.7</b>	<b>2196.4</b>
	<b>2194.8</b>	
	<b>2177.7</b>	

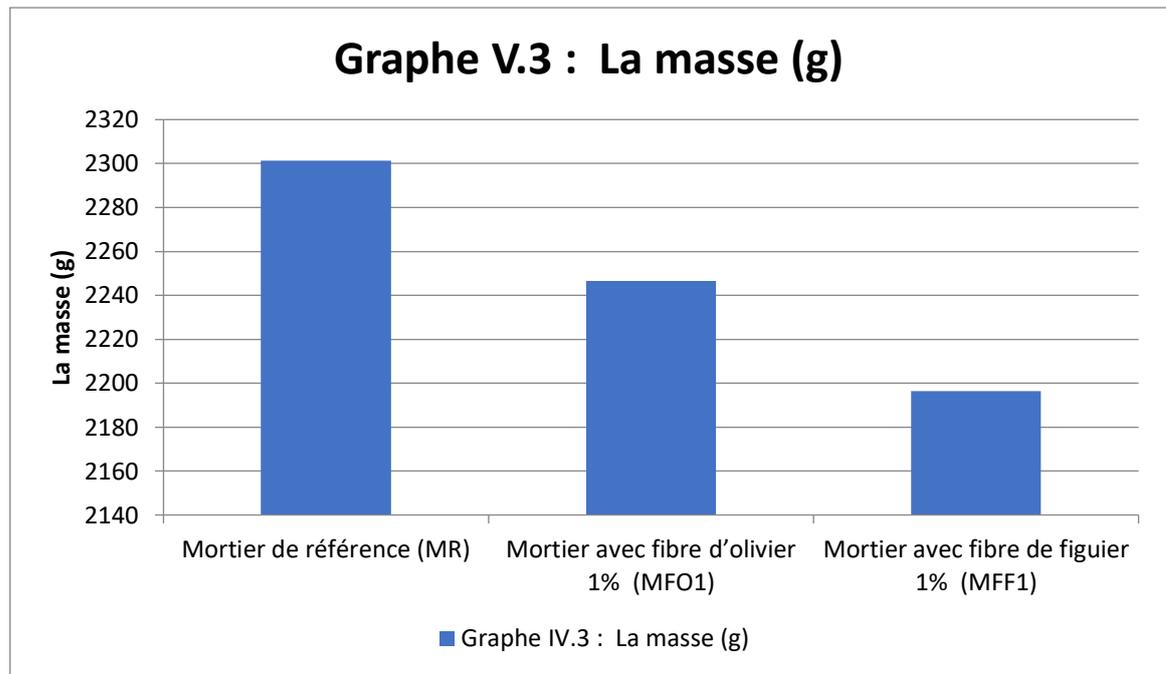


Figure.V.4 la masse de (MR), (MFO1) et (MFF1).

Commentaire :

Les résultats ont montré que la masse des mortiers avec 1% de fibre d'olivier (MFO1) et de figuier (MFF1) diminue par rapport au mortier de référence (MR).

L'augmentation de dosage des fibres diminue la masse des mortiers.

On constate que la masse du mortier avec fibre d'olivier (MFO1) est supérieure à la masse du mortier avec fibre de figuier (MFF1).

(La masse (MFO1) = 2246.6g ; La masse (MFF1) = 2196.4g)

**Tableau V.4 : La masse des mortiers avec 3% de fibres d'olivier et de figuier.**

	La masse (g)	La masse moyenne (g)
<b>Mortier de référence (MR)</b>	<b>2299.3</b>	<b>2301.3</b>
	<b>2317.1</b>	
	<b>2287.5</b>	
<b>Mortier avec fibre d'olivier 3% (MFO3)</b>	<b>2188.1</b>	<b>2211.2</b>
	<b>2220</b>	
	<b>2225.7</b>	
<b>Mortier avec fibre de figuier 3% (MFF3)</b>	<b>2143.8</b>	<b>2136.6</b>
	<b>2135.5</b>	
	<b>2130.6</b>	

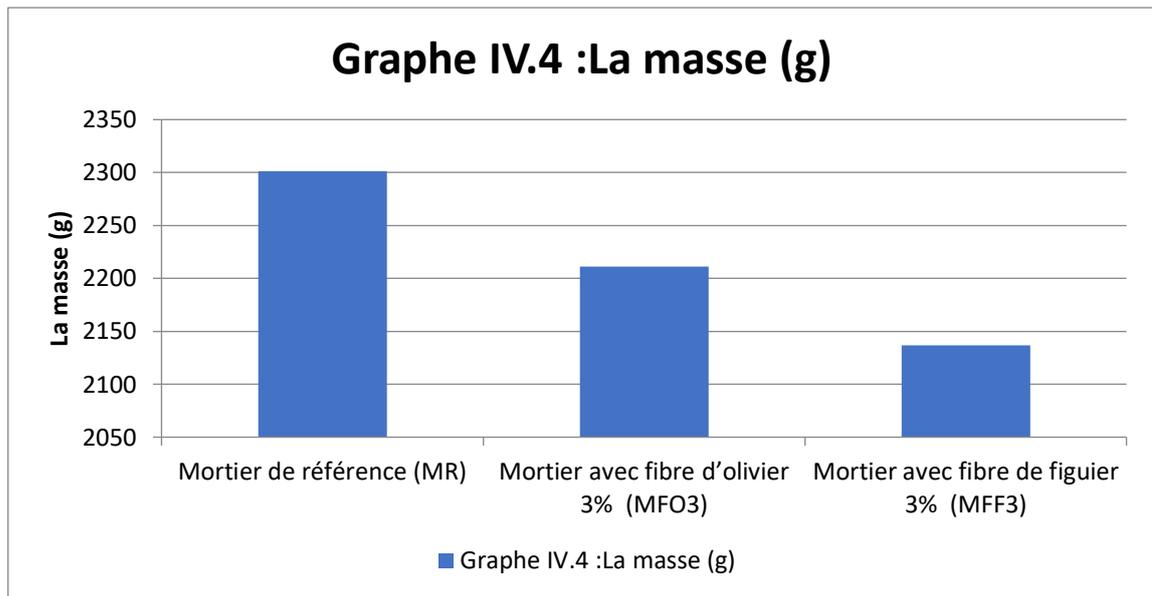


Figure.V.5 la masse de (MR), (MFO3) et (MFF3).

Commentaire :

Les résultats ont montré que la masse des mortiers avec 3% de fibre d'olivier (MFO3) et de figuier (MFF3) diminue par rapport au mortier de référence (MR).

L'augmentation de dosage des fibres diminue la masse des mortiers.

On constate que la masse du mortier avec fibre d'olivier (MFO3) est supérieure à la masse du mortier avec fibre de figuier (MFF3).

(La masse (MFO3) = 2211.2g ; La masse (MFF3) = 2136.6g)

#### V.4. Conclusion :

Ce chapitre rapporte les résultats d'une étude de l'effet de fibre végétale (olivier et figuier) dans un mortier et la résistance mécanique du mortier. L'essentiel des résultats a été basé sur la résistance mécanique en compression à long terme (28j).

Nous citons les résultats suivants :

- L'ouvrabilité diminue en fonction de l'augmentation du pourcentage des fibres.
- La résistance à la compression des mortiers des fibres avec 1% (olivier ou figuier) diminue avec environ 8 MPa par rapport mortier témoin sans fibres (mortier de référence).
- La résistance à la compression des mortiers des fibres avec 3% (olivier ou figuier) diminue avec environ 18 MPa à 17 MPa par rapport mortier témoin sans fibres (mortier de référence).
- La masse du mortier fibré avec 1% et 3% d'olivier est supérieure à la masse du mortier fibré avec 1% et 3% de figuier.
- L'ajout de super-plastifiant peut améliorer la maniabilité de mortier.

En général, dans les mortiers fibrés, il est difficile d'assurer une distribution homogène des fibres dans un volume de mortier ; on peut s'approcher à une distribution idéale par un meilleur malaxage et une bonne caractérisation des fibres.

## Conclusion générale

La problématique traitée dans ce travail de mémoire concerne l'influence d'utilisation de fibre végétale (les Feuilles d'olivier et les feuilles du figuier de la région BLIDA) sur la résistance mécanique à la compression du mortier fibré et son dosage.

Nous pouvons mentionner les conclusions suivantes :

- L'ouvrabilité diminue en fonction de l'augmentation du pourcentage des fibres.
- Les résultats ont montré que la résistance à la compression des mortiers avec 1% de fibre d'olivier (MFO1) et de figuier (MFF1) diminue par rapport au mortier de référence sans fibres (MR) avec une grande différence de sept à huit MPa.
- La résistance à la compression des mortiers avec 3% de fibre d'olivier (MFO3) et de figuier (MFF3) diminue par rapport au mortier de référence sans fibres (MR) avec très grande différence de dix-sept à dix-huit MPa.
- L'augmentation de dosage des fibres diminue significativement la résistance à la compression.
- L'augmentation de dosage des fibres diminue la masse des mortiers.
- D'après les résultats trouvés on peut dire qu'un essai est infructueux.

Finalement on ne peut pas formuler un mortier fibré (les Feuilles d'olivier et les feuilles du figuier), avec un dosage de 1% et 3% de volume de ciment.

Afin de tirer des conclusions encore plus précises, il serait intéressant en **perspectives** de :

- D'étudier expérimentalement l'effet de feuille d'olivier et figuier sur la résistance à la traction et flexion.
- D'étudier expérimentalement la compression à 3 et 7 jrs.
- Etudier le dosage des fibres utilisé par rapport de la masse de ciment.
- Diminution des pourcentages des fibres.

**Références bibliographiques**

- [1] Abdessemed M. (2011), Etude expérimentale et modélisation du comportement des poutres en béton armé renforcées par des matériaux composites sous flexion - Cas des ponts, Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie.
- [2] Kmiecir P. and Ski M.K. (2011) Modelling of reinforced concrete structures and composite structures with concrete strength degradation taken into consideration, Archives of Civil and Mechanical Engineering,
- [3] Mehta K. (2003), Concrete in the Marine Environment, Taylor & Francis Books, Inc. Modern Concrete Technology Series Edited.
- [4] Inge w., Nugroho S. and Njo H. (2018), Strengthening method of concrete structure, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 126 (2018) 012051 doi:10.1088/1755-1315/126/1/012051.
- [5] Heiza Kh, Nabil A., Meleka N. and Tayel M. (2014), State-of-the Art Review: Strengthening of Reinforced Concrete Structures – Different Strengthening Techniques, Sixth International Conference on Nano-Technology in Construction (NTC – Egypt-2014).
- [6] Mallat A. and Alliche A. (2011), Mechanical investigation of two fiber-reinforced repair mortars and the repaired system, Construction and Building Materials 25(4), pp: 1587-1595.
- [7] Abdessemed M., Kenai S., Bali A. and Kibboua A. (2011), Dynamic analysis of a bridge repaired by CFRP: Experimental and numerical modelling, Construction and Building Materials, Vol. 25, pp: 1270–1276.
- [8] Kaich A.B.M.A., Alam M.R., Jamil M., Zain M.F.M and Wahed M.A. (2012), Improved fibrocement jacketing for restrengthening of square RC short column, Construction and Building Materials, Vol. 36, pp: 228-237.
- [9] Abbas A., Lourenco P.B. and Oliveira D.V. (2020), The use of natural fibers in repairing and strengthening of cultural heritage buildings.
- [10] Faruk O., Bledzki A.K., Fink H.P. and Sain M. (2012), Bio-composites reinforced with natural fibers: 2000–2010, Progress in Polymer Science, Vol.37, Issue 11, November 2012, Pages 1552-1596.
- [11] Boutique AFNOR Editions, Normes & Recueils (2006), NF EN 1504-3 Février 2006, P18-901-3 / 3ème tirage septembre 2010 pour la version Française, France.
- [12] Zanotti C., Rostagno G. and Tingley B. (2018), Further evidence of interfacial adhesive bond strength enhancement through fiber reinforcement in repairs, Construction and Building Materials, Vol.160, pp: 775-785.
- [13] De Azevedo A.R.G., Marvila M.T., Antunes M.L.P., Rangel E.C. and Fediuk R. (2021), Technological perspective for use the natural pineapple fiber in mortar to repair structures, Waste and Biomass Valorisation, Vol.12, pp: 5131- 5145.

- [14] Nassah D. (2017), Influence de la quantité de fibres naturelles (alfa) et commerciales (polypropylène) sur les propriétés physicomécaniques des mortiers fibrés, *Mémoire de Magister, Université M'Hamed Bougara, Boumerdes, Algérie.*
- [15] Benali R. (2010), Etude du comportement mécanique et rhéologique de la pâte de ciment, mortier et béton avec différentes fibres, *Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie.*
- [16] Abdessemed M. (2003), Comportement des poutres isostatiques en béton armé renforcées par tissus et lamelles de fibres de carbone, *Mémoire de Magister, Département de Génie Civil, Université Saad Dahlab de Blida.*
- [17] Farina I., Fabbrocino F., Carpentieri G., Modano M., Amendola A., R.Goodall R., Fraternali F. (2016), On the reinforcement of cement mortars through 3D printed polymeric and metallic fibers, *Composites Part B: Engineering, Vol. 90, pp: 76-85.*
- [18] Chandramohan D, Marimuthu K (2011) A review on natural fibers. *Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, Vol.8, pp: 194–206.*
- [19] Yahi Fz (2016), Caractérisation physique d'une fibre végétale " le Diss", *Mémoire de Master en Science de la matière, Université de Msila, Algérie.*
- [20] Rachedi M., Kriker A. and Mokhtari A. (2017), Contribution à l'étude de la durabilité de mortier de plâtre à base de sable de dunes renforcé par des fibres de palmier dattier, *Revue des Energies Renouvelables, Vol.20 N°2, pp : 243 – 251.*
- [21] Aouidi F. (2012), Etude et valorisation des feuilles d'olivier *Olea Europaea* dans l'industrie agro-alimentaire, *Thèse de doctorat, Université du Carthage, Institut National des Sciences Appliquées et de Technologie (INSAT), Tunisie.*
- [22] Martin-Garcia I., Yanez Ruiz D., Moumen A. and Molina Alcalde, E. (2006). Effect of polyethylene glycol, urea and sunflower meal on olive (*Olea europaea var. europaea*) leaf fermentation in continuous fermenters, *Small Ruminant Research, Vol.61, pp: 53-61.*
- [23] Fegeros, K., Zervas, G., Apsokardos, F., Vastardis, J., and Apostolaki, E. (1995), Nutritive evaluation of ammonia treated olive tree leaves for lactating sheep. *Small Ruminant Research, Vol.17, pp : 9-15.*
- [24] Boudchicha R.H. (2019), Etude de la diversité génétique de quelques variétés locales de figuier (*Ficus carica L*) en Algérie, *Thèse de Doctorat, Faculté des sciences de la nature et la vie > Département d'écologie et environnement, Université de Batna 2, Algérie.*
- [25] RICHARDSON DAVID N. Review of variables that influence measured concrete compressive strength. *Journal of materials in civil engineering - mai 1991.v*
- [26] Mme MAKHLOUFI Née CHERGUI NADIA : « caractérisation en statique du comportement en traction direct du béton armé de fibres en copeaux » thèse magister, université mouloud MAMRI de Tizi ouzou le 30/11/2010.
- [27] DJBALI Saïd : « caractérisation des éléments de structures en béton de fibres métalliques » thèse doctorats, université Mouloud MAMRI de Tizi –ouzou, 22 juin 2013.
- [28] Guislaine BAVELARD Hervé BEINISH ; Guide de bonnes pratiques des essais de compression sur éprouvettes. Février 2006

[29] DGM09/UMBB/2011 -2012 Mémoire chapitre V le bétons-fibres.

[30] fiche n° 366 du mémento qualité – 2004.

[31] Normes NA 442/2013 (2017), Ciment Portland au calcaire, Construction de maisons individuelles. Tous travaux de maçonnerie, Caractéristiques techniques, GICA- Entreprise des Ciments et Derivés d'Ech-cheliff « E.C.D.E », Algérie.

[32] Sika El Djazeir (2021), Notice Produit, Sika® ViscoCrete® TEMPO-12, Superplastifiant- Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi, Sika Building Trust, Algérie.