

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

*UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DETIZI-OUZOU*

*FACULTE DE GENIE DE CONSTRUCTION*

*DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL*



# Mémoire de fin d'études

**En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER**

**Spécialité : *Génie Civil***

**Option : *Structures***

**Thème**

**Étude du comportement mécanique  
d'un béton à base de fibres métallique**

**Dirigé par:**

**M<sup>me</sup> F.KHELOUI-TAOUCHE**

**Présenté par:**

**Mr. ABDELMADJID Bilal**

*Promotion 2020/2021*



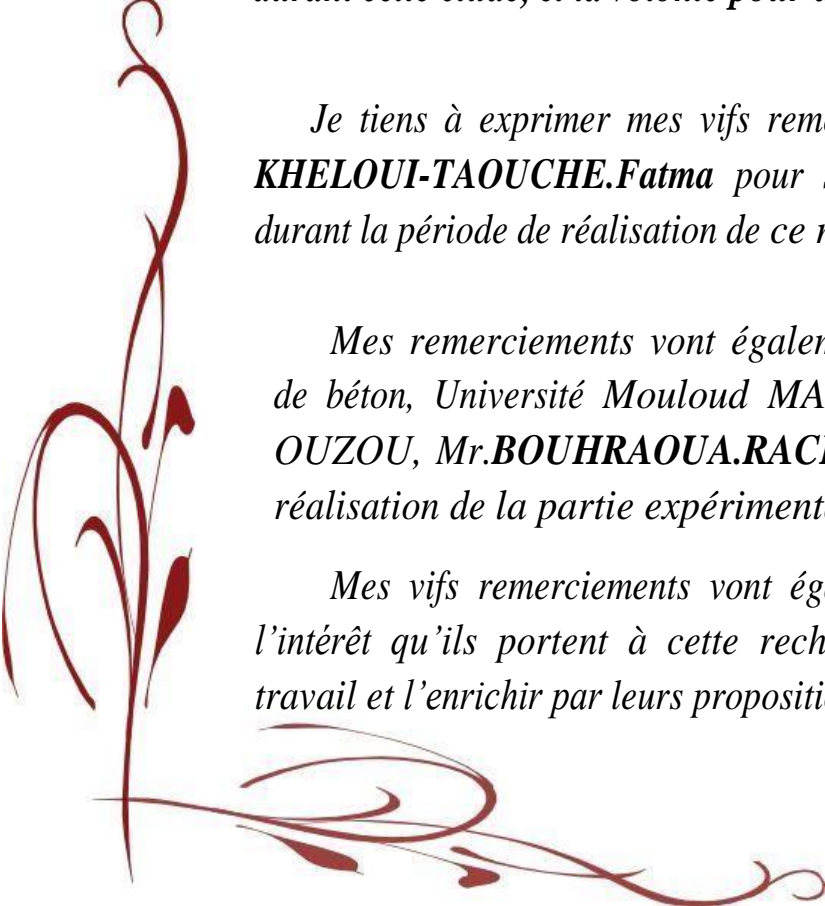
# **REMERCIEMENT**

*Tout d'abord je remercie avant tous, Dieu clément et miséricordieux de m'avoir donné la force, le courage, la patience durant cette étude, et la volonté pour atteindre mon objectif.*

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à ma promotrice **M<sup>me</sup> KHELOUI-TAUCHE.Fatma** pour ses encouragements, et son aide durant la période de réalisation de ce modeste travail.*

*Mes remerciements vont également au responsable du Laboratoire de béton, Université Mouloud MAMMARI, en Génie Civil de TIZI OUZOU, **Mr.BOUHRAOUA.RACHID** pour sa précieuse aide dans la réalisation de la partie expérimentale.*

*Mes vifs remerciements vont également aux **membres du jury** pour l'intérêt qu'ils portent à cette recherche en acceptant d'examiner ce travail et l'enrichir par leurs propositions.*





## **DEDICACES**

*Je tiens à dédier ce travail aux personnes les plus chères à mon cœur, ma mère KHEDIDJA qui a su être à mes côtés dans les moments difficiles sans laquelle je n'aurai pas abouti à ce stade d'étude, ainsi que chaque instant de bonheur qu'elle m'a procurée, à mon père MOHAMMED, car c'est grâce à leurs soutiens que j'ai pu arriver à ce stade ; je souhaite que ce travail soit à la hauteur de tout ce qu'ils ont pu faire pour moi. Fasse Dieu que je puisse les honorés.*

*A ma grande sœur LILA, à mon frère HOCINE.*

*A la famille ABDELMADJID et BOUSBICI.*

*A tous les citoyens de mon village IMNIAN de TIMIZART SIDI MENSOUR*

*A tous mes amis et mes collègues.*

*A tous ceux qui me sont chères.*

**BILAL.**



Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale ..... 1

## Première partie : Étude bibliographique

### Chapitre I: Bétons renforcés de Fibre Métalliques

Introduction.....	3
I.1. Généralités sur le béton.....	3
I.2. Généralités sur le béton armé.....	4
I.3. Généralités sur le béton renforcé de fibres métalliques.....	5
I.3.1. Définition.....	5
I.3.2. Historique sur l'utilisation des bétons et des fibres.....	6
I.4. Les différents types de fibres.....	8
a. Fibres minérales.....	8
b. Fibres végétales.....	9
c. Fibres synthétiques.....	9
d. Fibres de carbone.....	10
e. Fibres d'amiante.....	11
f. Fibres de cellulose.....	12
g. Fibres de polypropylènes.....	13
h. Fibres de verre.....	14
i. Fibres métalliques.....	15
I.5. Intérêt de l'utilisation des bétons de fibres.....	16
I.6. Amélioration des caractéristiques mécaniques.....	17
I.7. Contrôle de la fissuration de retrait.....	18
I.8. Avantages du béton fibré.....	18
I.8.1. Aspect technique.....	18
I.8.2. Aspect économique.....	18
I.9. Domaines d'utilisation du béton renforcé de fibres.....	19
Conclusion.....	20

### **Chapitre II: Comportement mécanique des bétons de fibres métalliques**

Introduction .....	20
II.1. Effet des fibres dans une matrice.....	21
II.2.Rôles des fibres dans le béton.....	22
II.3. Influence de l'adhérence fibre –matrice .....	23
II.4. Influence de la géométrie de la fibre .....	23
II.5. Influence de la longueur des fibres.....	24
II.6. Influence du pourcentage en fibres.....	24
II.7 . Influence du type de fibres .....	25
II.8. Mécanisme de rupture d'une fibre dans la matrice.....	25
II.9.Résistance des bétons de fibres en compression .....	26
II.10. Essais de traction par Flexion .....	30
Conclusion.....	31

### **Deuxième partie: Etude Expérimentale**

#### ***Chapitre III: Présentation des matériaux***

Introduction.....	32
III.1 La composition du béton .....	32
III.2 Analyse granulométrique .....	34
III.2.1 Principe de l'essai .....	35
III.2.2 Equipements utilisés .....	35
III.2.3 Description de l'essai.....	35
III.2.4 :Module de finesse .....	37
III.2.5. Masse volumique absolue et apparente.....	39
III.3 Composition de béton par la méthode de DREUX – GORISSE.....	39
III.4 Présentation d'éprouvettes utilisées .....	44
III.5 Les fibres .....	45
III.6 Confection du béton .....	49
III.6.1 Présentation de matériels .....	49

## Sommaire

---

III.6.2 Réalisation de béton témoin.....	49
III.6.3 Réalisation de béton de fibres .....	51
III.7 . Conservation des éprouvettes .....	53
Conclusion.....	54

### *Chapitre IV : Presentation et interpretation des résultats*

Introduction.....	55
IV.1 Essais de compression.....	55
IV.1.1 But de l'essai.....	56
IV.1.2 Principe de l'essai.....	56
IV.1.3 Résistance à la compression du béton témoin (BT). .....	57
IV.1.4 Résistance à la compression du béton de fibré dosé à 1% .....	59
IV.1.5 Résistance à la compression du béton de fibré dosé à 0 , 3% .....	62
IV.2 Essai de traction par flexion trois points .....	65
IV.2 .1 Résistance à la traction du béton témoin (BT).....	68
IV.2.2 Résistance à la traction du béton a 1% de fibres .....	69
IV.2.3 Résistance à la traction du béton a 0.3% de fibres .....	69
IV.2.4 Comparaison entre les différents pourcentages.....	69
Conclusion.....	71
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>72</b>

### **Références bibliographiques**

### **Résumé**

# Liste des figures

---

## Chapitre I

<b>Figure I.1</b> : (ciment, sable, gravier) .....	3
<b>Figure I.2</b> : Le béton.....	4
<b>Figure I.3</b> : Le béton armé.....	5
<b>Figure I.4</b> : Béton de précontrainte.....	5
<b>Figure I.5</b> : Fissuration dans le béton sans et avec fibres.....	6
<b>Figure I.6</b> : Villa témoin en béton armé de Francois Hennebique à Bourg la Reine construite entre 1894 et 1904 .....	7
<b>Figure I.7</b> : fibre minérales.....	8
<b>Figure I.8</b> : isolation laine minérale.....	9
<b>Figure I.9</b> : Fibres végétales .....	9
<b>Figure I.10</b> : Fibres synthétiques .....	10
<b>Figure I.11</b> : Fibres de carbone.....	11
<b>Figure I.12</b> : Vue microscopique de fibres d’amiante .....	12
<b>Figure I.13</b> : Molécule de la cellulose .....	13
<b>Figure I.14</b> : Structure de la microfibrille de cellulose.....	13
<b>Figure I.15</b> : Fibres de polypropylène .....	14
<b>Figure I.16</b> : Fibre de verre .....	14
<b>Figure I.17</b> : Différentes formes de fibres.....	16
<b>Figure I.18</b> :Géométrie des fibres métalliques .....	16

## Chapitre II

<b>Figure II.1</b> : Effet de la taille d’agrégat sur la distribution des fibres dans un carré avec une longueur égale à la longueur d’une fibre .....	21
<b>Figure II.2</b> : Schémas descriptif comment les fibres couvrent les microfissures .....	22
<b>Figure II.3</b> : comportement de charge – déformation de béton avec fibres et béton sans fibres .....	23
<b>Figure II.4</b> : Influence de la longueur des fibres sur la résistance à la traction par flexion.....	24
<b>Figure II.5</b> : Géométrie d’une fibre décollée contraintes de matrice sur une longueur.....	25
<b>Figure II.6</b> : Distribution des d’adhérence après décollement .....	25

## Liste des figures

---

<b>Figure II.7:</b> Courbe contrainte déformation en compression simple (SERNA ROS, 1984) .....	27
<b>Figure II.8:</b> Influence du dosage en fibres lors d'essai de compression .....	28
<b>Figure II.9:</b> Courbe contrainte déformation de compression sur éprouvettes asservies.....	28
<b>Figure II.10:</b> Diagrammes effort-déplacement en compression en fonction du type et du pourcentage en fibres .....	29
<b>Figure II.11:</b> Allure des courbes charge-flèche.....	30
<b>Figure II. 12:</b> Vue du dispositif d'essai (machine Tribel OPM) .....	31

## Chapitre III

<b>Figure III.1 :</b> Le ciment .....	33
<b>Figure III.2 :</b> Le sable .....	34
<b>Figure III.3 :</b> Les granulats .....	35
<b>Figure III.4:</b> Plastifiant Sikaplast BV 40+ .....	35
<b>Figure III.5 :</b> Tamiseuse.....	36
<b>Figure III.6:</b> Courbe Granulométrique.....	38
<b>Figure III.7:</b> Mesure de la masse volumique absolue et apparente.....	39
<b>Figure III.8:</b> Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône) .....	42
<b>Figure III.9:</b> Éprouvettes prismatiques .....	45
<b>Figure III.10:</b> Éprouvettes cylindriques.....	45
<b>Figure III. 11 :</b> la canette.....	46
<b>Figure III.12 :</b> Variantes de fibres.....	46
<b>Figure III.13:</b> Malaxeur .....	49
<b>Figure III.14:</b> Table vibrante.....	49
<b>Figure III.15:</b> Le mélange avec et après l'ajout de l'eau .....	50
<b>Figure III.16:</b> Mesure d'affaissement.....	50
<b>Figure III.17:</b> vibration des éprouvettes.....	50
<b>Figure III.18:</b> Malaxage du béton de fibré.....	51
<b>Figure III.19:</b> Vibration des éprouvettes.....	52

## Liste des figures

---

<b>Figure III.20 :</b> Recouvrir les éprouvettes d'une toile en plastique avant démoulage .....	53
<b>Figure III. 21:</b> Démoulage de l'éprouvette prismatique .....	53
<b>Figure III.22:</b> Démoulage de l'éprouvette cylindrique .....	53
<b>Figure III. 23:</b> Préservation des éprouvettes dans l'eau.....	54

### Chapitre IV

<b>Figure IV.1 :</b> Presse hydraulique AUTO TEST [4] .....	56
<b>Figure IV.2 :</b> Écrasement de l'éprouvette .....	57
<b>Figure IV.3:</b> Courbe contrainte-déformation du béton témoin (BT).....	59
<b>Figure IV.4:</b> Rupture des éprouvettes bétons témoin sous sollicitation de compression .....	59
<b>Figure IV.5:</b> Courbe contrainte-déformation du béton Fibre droite (BFD 3/5cm) .....	61
<b>Figure IV.6:</b> Courbe contrainte-déformation du béton Fibre Ondulée (BFO 3/5cm) .....	61
<b>Figure IV.7:</b> Résistances des différentes variantes des bétons avec 1% de fibres .....	62
<b>Figure IV.8:</b> Rupture des éprouvettes cylindriques sous sollicitation de compression .....	62
<b>Figure IV.9:</b> Courbe contrainte-déformation du béton Fibre Droite (BFD 3/5cm).....	64
<b>Figure IV.10:</b> Courbe contrainte-déformation du béton Fibre Ondulée (BFO 3/5cm) .....	64
<b>Figure IV.11:</b> Résistances des différentes variantes des bétons avec 0,3% de fibres .....	64
<b>Figure IV.12:</b> Rupture des éprouvettes cylindriques sous sollicitation de compression .....	65
<b>Figure IV.13 :</b> La presse hydraulique.....	67
<b>Figure IV.14 :</b> Détermination du déplacement en flexion.....	67
<b>Figure IV.15:</b> Résultats de l'essai de traction par flexion trois points .....	68
<b>Figure IV.16:</b> Courbes Force-déplacement du béton témoin (BT) .....	68
<b>Figure IV.17:</b> Courbes Force-déplacement du béton avec 1% de fibres.....	69
<b>Figure IV.18:</b> Courbes Force-déplacement du béton avec 0.3 % de fibres.....	70
<b>Figure. IV 19 :</b> Comparaison entre les forces maximales des différents pourcentages .....	71
<b>Figure IV.20 :</b> Éprouvette prismatique après écrasement .....	72

# Liste des tableaux

---

## Chapitre I

<b>Tableau I.1:</b> Propriétés mécaniques des fibres de carbone .....	11
<b>Tableau I.2:</b> Caractéristiques mécaniques des fibres d'amiante .....	12
<b>Tableau I.3:</b> Caractéristiques mécaniques des fibres de verre.....	15
<b>Tableau I.4 :</b> Les sites où le béton de fibres a été utilisé.....	19

## Chapitre III

<b>Tableau III.1:</b> Analyse granulométrique pour le sable avec $M = 2000g$ .....	37
<b>Tableau III.2:</b> Analyse granulométrique pour le gravier 3/8 avec 2000g.....	37
<b>Tableau III.3:</b> Analyse granulométrique pour le gravier 8/16 avec 2000g.....	37
<b>Tableau III.4:</b> Masses volumiques absolue et apparente des granulats. ....	39
<b>Tableau III.5:</b> Valeurs approximatives du coefficient granulaire.....	41
<b>Tableau III.6:</b> Les pourcentages des constituants.....	43
<b>Tableau III.7:</b> Composition finale pour $1m^3$ de béton.....	45
<b>Tableau III.8 :</b> Les constituants de béton témoin.....	48
<b>Tableau III.9:</b> Les constituants de béton fibré a (0.3%).....	48
<b>Tableau III.10:</b> Les constituants de béton (1%).....	48

## Chapitre IV

<b>Tableau IV.1:</b> Béton témoin sans fibres (BT).....	58
<b>Tableau IV.2:</b> Résistances et forces maximal de béton a 1% de fibres.....	60
<b>Tableau IV.3:</b> Résistances et forces maximal de béton a 0.3% de fibres.....	63



***Introduction  
générale***

## Introduction générale

Une structure de Génie Civil, est un élément dont le matériau constitutif est soumis à des contraintes de nature et d'intensité diverses. Il y a les contraintes normales de traction et de compression dues au moment de flexion. Il existe également des contraintes de cisaillement dues à l'effort tranchant liées au moment de flexion.

L'un des matériaux les plus utilisés pour la réalisation de bâtiments et ouvrages de génie civil est le béton. Sa mise en œuvre nécessite peu de moyens. Composé de liants, de granulats, d'eau et éventuellement d'adjuvant. Quand il s'agit de structures en béton, comme celui-ci résiste mal en traction, il est cousu par des armatures d'acier dans ses parties tendues par la flexion qui permet des contraintes de traction grandement supérieures à celles que peut supporter le béton seul. On a alors un comportement en section fissurée d'un matériau composite.

Le béton présente des performances mécaniques qui ont connu d'importantes avancées dans les années 1980 des nouvelles techniques et méthode ont été développées sur la base des thèses et des théories basées sur l'incorporation des fibres tant métalliques que plastiques ou autres ont été incorporées dans les bétons. L'utilisation de ces bétons renforcés de fibres a connu diverses applications. On peut citer les dallages industriels, la réparation des canalisations d'assainissement, la projection sous voûte dans les tunnels, la réalisation de chaussées entièrement faites en béton de fibres, des chaussées d'autoroutes ou chaussées de parkings aéronautiques

En revanche, les fibres peuvent aider le béton dans les zones subissant des sollicitations moins sévères comme celles engendrées par le cisaillement d'effort tranchant. Dans ces zones, la présence des fibres peut jouer deux rôles :

- retarder la fissuration du béton au-delà des conditions de service de la structure et ainsi éviter la mise en place d'armatures de type béton armé couteuses.
- une fois la fissuration amorcée, limiter son ouverture et préserver la durabilité avec ou sans présence d'armatures transversales.

Le but de ce travail est d'étudier le comportement d'un béton des fibres métalliques issues de l'industrie de récupération (canettes cylindriques de boissons dans la nature). Ces canettes sont lavées pour en extraire toutes les impuretés et puis coupées en longueur et forme différentes. Des variantes sont considérées pour en évaluer l'apport sur le comportement mécanique du béton. Les fibres de 5cm et 3cm de longueur avec une forme droite et une autre

## Introduction générale

---

forme ondulée. Le pourcentage des fibres est aussi considéré dans le but d'avoir la meilleure variante. Des éprouvettes cylindriques et prismatiques pour des essais de traction et compression ont été confectionnées. Tous les résultats des différents essais sont représentés sous forme de tableaux, de courbes et des histogrammes.

Le manuscrit est organisé de deux parties principales, une première partie qui concerne une étude bibliographique suivie d'une partie concentrée sur l'étude du comportement expérimental.

**La première partie :** est une étude bibliographique qui regroupe deux chapitres. Le chapitre I traite les bétons renforcés de fibre métalliques. Des définitions, des généralités ainsi d'un historique sur le béton et béton armé et le béton de fibres sont présentés. Suivi du chapitre II qui concerne le comportement mécanique des bétons de fibres métalliques, tous les détails sont présentés dans le but de comprendre le comportement et sa réaction face aux différentes sollicitations auxquels sont soumis les bétons.

**La seconde partie** décrit le programme expérimental défini dans le cadre de ce travail. Elle est subdivisée en deux chapitres tels que: un chapitre noté chapitre III qui illustre toute les étapes de l'étude expérimentale entreprise dans le cadre de ce travail. Cette étude est entièrement réalisée au laboratoire de Mécanique et Matériaux du Génie Civil de l'Université Mouloud MAMMARI. Les compositions de bétons, les matériaux et matériels, le mode de cure et les essais de caractérisation sont fidèlement présentés. Un dernier chapitre noté chapitre IV qui regroupe tous les résultats des différents essais réalisés pour étudier le comportement des bétons de référence (sans fibres) et les bétons fibrés avec plusieurs variantes. La résistance en compression et en traction sont Évalués et présentés sous forme de tableaux, de courbes et d'histogrammes.

Nous terminons ce mémoire par une conclusion générale et des perspectives.

**Première partie:**

*Étude*

*bibliographique*



**Chapitre I**  
*Bétons renforcés de  
Fibres Métalliques*

## Introduction

Le développement de nouveaux matériaux est soumis aux besoins des utilisateurs (constructeurs). Ceux-ci veulent toujours des matériaux plus performants, plus économiques et qui durent plus longtemps. Les chercheurs sont le plus souvent amenés à optimiser les solutions déjà utilisées. En effet, on ne découvre plus de nouveaux matériaux, mais on crée plutôt des nouvelles associations de matériaux. L'un des résultats de cette association est l'aboutissement à béton renforcé par des fibres. Dans ce chapitre nous allons résumer les principales connaissances de béton, Béton armé et les béton fibrés.

### I.1. Généralités sur le béton

Le béton, depuis son origine, a été réalisé à partir des composants de base qui sont: le ciment, l'eau et les granulats. Le ciment constitue la phase liante du béton, avec une taille de grains comprise entre 1 et 100 micromètres; le sable, avec une taille de grains comprise entre 0 et 5 mm et les granulats ou graviers de grosseur comprise entre 5 et 25mm. Depuis son invention le béton occupe, la première place en volume d'utilisation des matériaux dans le domaine du bâtiment et du génie civil. Son intérêt vient de sa grande facilité de mise en œuvre, sa résistance en compression, sa durabilité et son faible coût. Il présente également d'autres qualités, telles une excellente tenue au feu, une grande résistance aux chocs, une bonne protection contre les radiations nucléaires, etc....



**Figure I.1** : ciment, sable, gravier [32].



**Figure I.2 :** Le béton [33].

Certes, on peut construire avec d'autres matériaux tels que les charpentes en bois charpente métallique, maçonneries (pierres, briques) éventuellement avec du verre ... Leur utilisation est limitée pour cause de coût très élevé par rapport à celui du béton et parfois pour leurs propriétés technologiques inadaptées. De par sa nature et son mode opératoire de fabrication, le béton se différencie des autres matériaux. C'est le matériau polyvalent par excellence. Selon la formule utilisée pour le fabriquer, ses propriétés différeront et le rendront unique par rapport aux autres. Toutefois, le matériau béton doit s'adapter de manière continue aux exigences nouvelles en matière de propriétés ce qui a incité les chercheurs et les industriels à introduire dans les formulations de nouveaux produits afin d'obtenir des propriétés recherchées. Ainsi, actuellement, assiste-t-on à une large variété de gammes de bétons pour répondre à la forte demande des industriels. S'appuyant sur les connaissances de ces nouveaux matériaux, les maîtres d'œuvre proposent des ouvrages innovants. Il s'agit là de réaliser des ouvrages avec des compositions de béton répondant aux critères exigés définis pour chaque ouvrage. [1].

## **I .2. Généralités sur le béton armé**

La mise en œuvre du béton armé est généralement attribuée à Joseph Lambot, qui, en 1848, fit flotter une barque en ciment armé et à Joseph Monier, qui construisait indépendamment grâce à ce matériau, des bacs à fleurs en 1849. L'emploi du béton armé dans les structures s'étend dès lors rapidement en France sous l'impulsion de Joseph Monier, mais aussi de Coignet, de François Hennebique et de Armand Gabriel qui considèrent dès 1906, une circulaire ministérielle fixe des instructions relatives à l'emploi du béton armé, codifiant ainsi pour la première fois la conception et le calcul des ponts et des bâtiments avec ce matériau.



Figure I.3 : Le béton armé [34].

Un nouvel essor est apporté par l'invention vers 1930, du béton précontraint par Eugène Freyssinet. Un pas conceptuel important est alors franchi, qui a constitué une véritable révolution dans l'art de construire, tant par la mise en pratique de la notion de précontrainte que par l'approfondissement de la compréhension du comportement mécanique et rhéologique du béton [2].

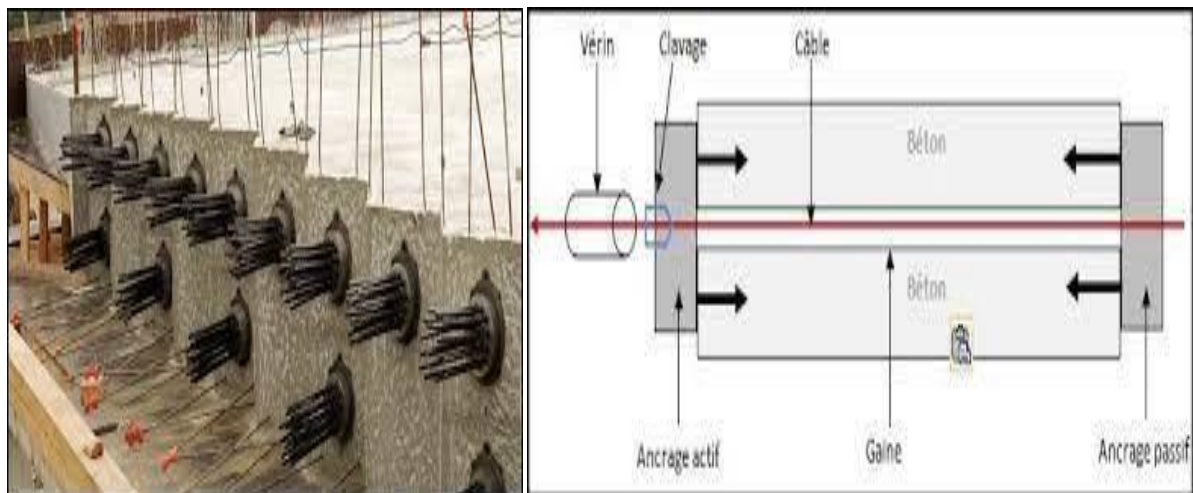


Figure I.4 : Béton de précontrainte [35].

### I.3. Généralités sur le béton renforcé de fibres métalliques

#### I.3.1. Définition

Le béton renforcé de fibres métalliques (BRFM) est un matériau composite dont les propriétés mécaniques résultent de la combinaison des propriétés du béton, des fibres et de l'interface entre les matériaux.

L'ajout de fibres dans le béton modifie ses propriétés. Largement utilisées pour assurer la pérennité des ouvrages, certaines sont capables de coudre les macrofissures (voir fig. I.5). Une pièce en béton armé renforcée à l'aide d'une couche en béton de fibres permettrait d'augmenter la résistance au feu (par limitation des ouvertures des fissures et aussi protègent les armatures traditionnelles). Il existe maintenant cinq gammes de fibres utilisées pour des applications très différentes: métalliques, macro fibres synthétiques et microfibres Polypropylènes [3].

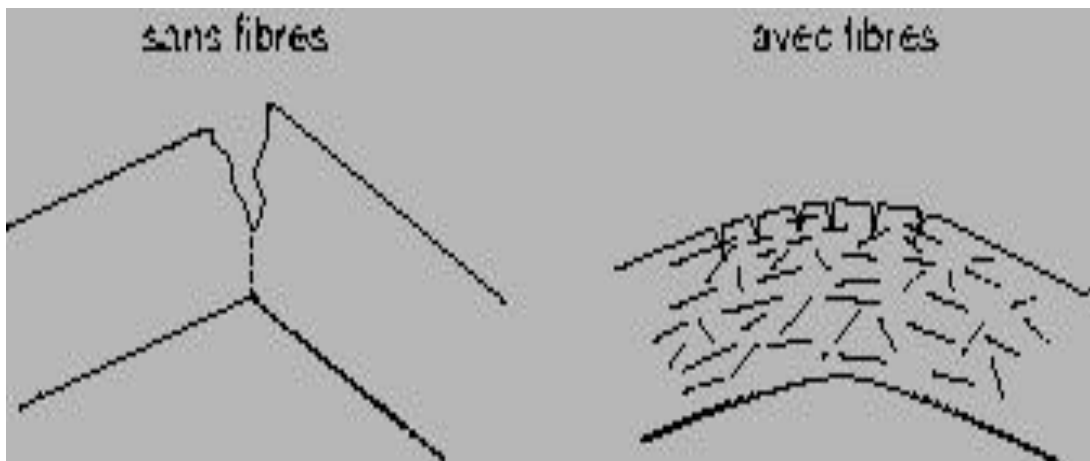


Figure I.5 : Fissuration dans le béton sans et avec fibres [4]

### I.3.2. Historique sur l'utilisation des bétons et des fibres

L'idée de renforcer le béton avec des éléments courts en acier de type fibres n'est pas récente, elle date depuis l'antiquité. D'après le chercheur Exode [5.6], les Égyptiens ont utilisé les pailles pour renforcer la brique de boue. Il y a aussi une certitude que les fibres d'amiante ont été utilisées dans le renforcement des poteries en argile en Finlande, il y a de cela 5000 ans [5]. Dans d'autres sources [6. 7], il a été indiqué que les pailles ont été utilisées pour renforcer les briques, tandis que les poils d'animaux et les fibres d'amiante ont été introduits pour renforcer le plâtre et la pâte de ciment Portland. On peut noter aussi la réalisation au milieu du XV<sup>e</sup> siècle d'alliages métalliques avec des fibres de carbone. L'américain A. BERNARD est parvenu en Californie (U.S.A), créer à une pierre artificielle par l'ajout de granulats en fer recuit dans un mélange de béton. Ensuite, en 1899, un processus de fabrication d'éléments composites à base de ciment et d'amiante a été mis au point par LHATSHELS.

Auparavant, en 1891, COIGNET utilisa des poutres BA préfabriquées pour la construction d'un immeuble. [4 .8]



**Figure I.6 :** Villa en béton armé de Francois Hennebique à Bourg la Reine construite entre 1894 et 1904[9]

Pour améliorer la résistance du béton, une série d'essais a été faite par J. PORTER en 1910[11], qui a conclu que la présence des fibres courtes dans le béton augmente sa résistance à l'écrasement et à la traction. Par la suite une série de brevets ont été établis par J. GRAHAM (1910), WEAKLY (1912), FICKLEY (1914). En 1963, deux articles ont été publiés par ROMUALDI et BATSON [12,13], le premier, sous le titre, "The mechanics of crack arrest in concrete", le deuxième s'intitule "Behavior of reinforced concrete beams with closely spaced reinforced ". Dans ces deux articles, une analyse théorique des résultats donnés par les brevets de Battelle Development Corporation a été validée avec des données expérimentales obtenues à partir de l'essai de flexion. Par la suite, les recherches sur les bétons de fibres ont connu un réel développement grâce aux travaux de ROMUALDI, BATSON et MANDEL et d'autres. Dans ces travaux, qu'on peut qualifier comme des essais pilotes en déformation, les chercheurs sont arrivés à mettre en évidence les propriétés nouvelles de ce composite. Ils ont décrit les mécanismes de propagation et d'arrêt d'une fissure au sein d'une matrice fragile.

La fin des années soixante a connu la participation d'un grand nombre de chercheurs afin d'orienter les axes de recherche vers l'application, avec toute la fiabilité du béton de fibres dans les domaines de construction. Les travaux se multiplient et une multitude de types de fibres a été introduite dans le commerce comme étant de nouvelles applications. Le plus

grand progrès dans ce domaine a commencé dans les années soixante-dix avec l'incorporation des fibres d'acier dans l'industrie réfractaire.

A partir de l'année 1970, il s'est produit une sorte de réveil dans le domaine de la technologie des bétons renforcés de fibres. L'amélioration de certaines propriétés spécifiques des bétons renforcés de fibres a permis leur utilisation de façon permanente dans des applications industrielles. Mais aujourd'hui, avec le développement des moyens expérimentaux, l'utilisation de ce type de matériaux s'est orientée vers les structures présentant des phénomènes de fissuration avec des bétons traditionnels [4].

Le premier article dans ce concept peut être attribué à LANKARD et SHEETS [12]. Dans cet article, ces auteurs confirment que l'ajout de 1% à 2% de fibres au béton réfractaire donne une amélioration significative à sa résistance, sa ténacité et sa durabilité.

#### **I.4. Les différents types de fibres**

Les fibres sont classées selon leur origine (naturelle, synthétique ou artificielle), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc), leur dimension (macro ou micro-fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Les principales fibres utilisées sont:

##### **I.4.1 .Fibres minérales**

Elles regroupent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine...etc.), et sont utilisées en grande quantité dans plusieurs applications traditionnelles. Les fibres d'amiante autrefois utilisées pour l'isolation et l'ignifugée, se sont aujourd'hui révélées cancérigènes [4].



**Figure I.7 : Fibre minérales**



Figure I .8 isolation laine minérale [13]

### I.4.2. 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 (fibres de bois) [14].



Figure I.9 : Fibres végétales [15]

### I.4.3. Fibres synthétiques

Cette famille regroupe plusieurs types de fibres comme (nylon, polypropylène, acryle, polyester ...etc.). Elles sont apparues à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle sous le nom de rayonne. Elles

sont dérivées de la cellulose naturelle. Aujourd'hui, la plupart des fibres synthétiques proviennent de produits dérivés du pétrole et de polymères géants dont la structure ressemble à celle des matières plastiques. La première fibre plastique commercialisée avec succès, le Nylon, daté de 1938. Depuis, de nombreux synthétiques, dont les fibres acryliques, l'aramide, l'oléfine et le polystyrène sont apparus. Ces fibres ont également été étudiées à des fins industrielles très précises, telles que la fabrication des matériaux d'isolation, tissus pare-balles, les fuselages et ailes d'avion [4].



**Figure I. 10** : Fibres synthétiques [4]

#### **I.4.4. Fibres de carbone**

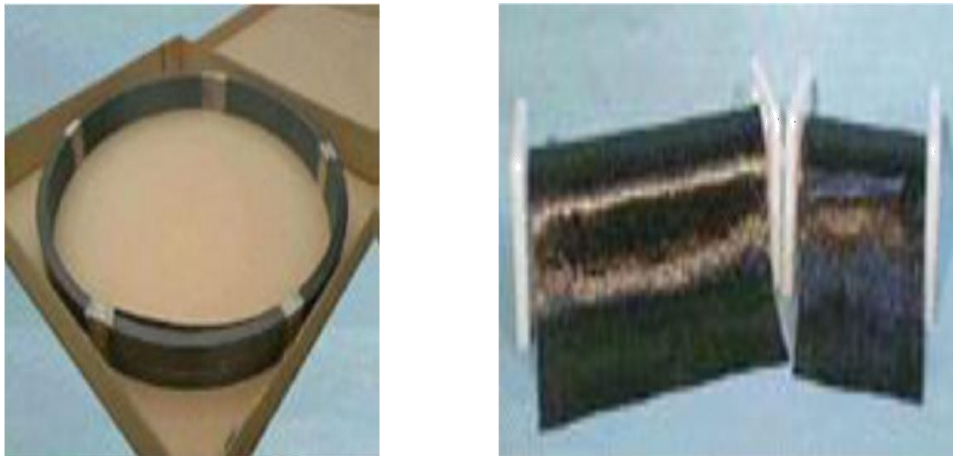
Le carbone est très dispendieux ce qui le rend beaucoup moins populaire que le verre. Moins disponible sur le marché, les fibres de carbone sont cependant reconnues comme étant les fibres les plus performantes.

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

- les types hauts modules soient les classes UHM (Ultra Haut Module) et HM (Haut Module),
- les types hautes résistances soient les classes I THR ou VHS (Très haute résistance ou very high strength) et HR ou HS (haute résistance ou high strength)

Les fibres de carbone sont très fragiles ce qui rend l'opération de malaxage du béton de ces fibres très difficile. Pour cela, elles sont ajoutées par la suite au béton par projection.

Par ailleurs, le béton de ces fibres présente des caractéristiques de durabilité très intéressantes [16].



**Figure I.11** : Fibres de carbone [16]

**Tableau I.1:** Propriétés mécaniques des fibres de carbone [16]

Type de carbone	H.R.	H.M.
Diamètre D (mm)	8	8
Masse Volumique ? (g/cm <sup>3</sup> )	1.75	1.81
Résistance à la rupture $s_{fu}$ (MPa)	3000 - 5000	2800
Module d'Young E (GP a)	220	400

#### I.4.5. Fibres d'amiante

Ces fibres sont considérées comme les renforcements les plus anciens des matrices cimentaires et aussi pour la confection de tissus résistants aux feux. Elles sont en fait des bâchettes de micro- fibres extrêmement fines, difficilement fusibles (vers 1500°C) et ont l'avantage d'être inattaquables par les ciments. Elles possèdent une excellente tenue au feu, une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé. Elles sont aussi plus résistantes aux agressions chimiques et aux 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, revêtements de mur [17].



**Figure I.12:** Vue microscopique de fibres d'amiante [17].

**Tableau I.2:** Caractéristiques mécaniques des fibres d'amiante [17].

Type de fibre	Amiante
Diamètre D (mm)	0.0002 - 0.002
Longueur (mm)	5
Masse Volumique $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.6 - 3
Résistance à la rupture $s_{fu}$ (MPa)	100 - 300
Module d'Young E (GPa)	80 - 150

#### I.4.6. Fibres de cellulose

Les fibres de cellulose sont obtenues à partir du bois par différents processus chimiques et mécaniques. Elles étaient utilisées pendant des années comme un additif au ciment d'amiante et non pas comme un renfort. Aujourd'hui, elles sont utilisées principalement pour renforcer les matrices organiques et aussi des matrices cimentaires destinées à la fabrication des plaques minces, des pipes, et d'autres types d'éléments. Leurs propriétés physiques sont changeables selon les modes de fabrication de ce type de fibres. Les

diamètres de ces fibres varient de 1 à 4 mm, tandis que leurs longueurs comprises entre 10 à 50 mm, alors que l'élanement peut être dans les environs de 100. Leurs résistances en traction varient entre 10 et 30 MPa. Elles sont très efficaces dans l'amélioration de la résistance mécanique d'un composite. Cette amélioration est réalisée essentiellement par le freinage des fissures [4].

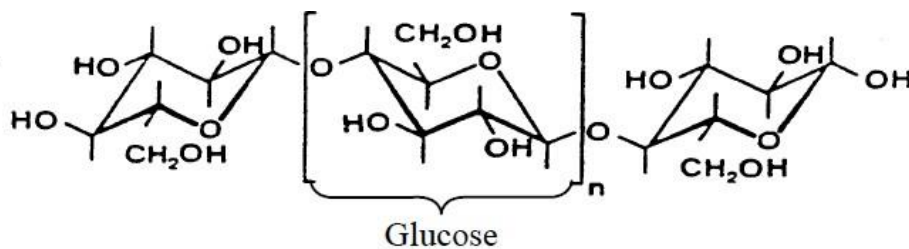


Figure I.13 : Molécule de la cellulose.[18]

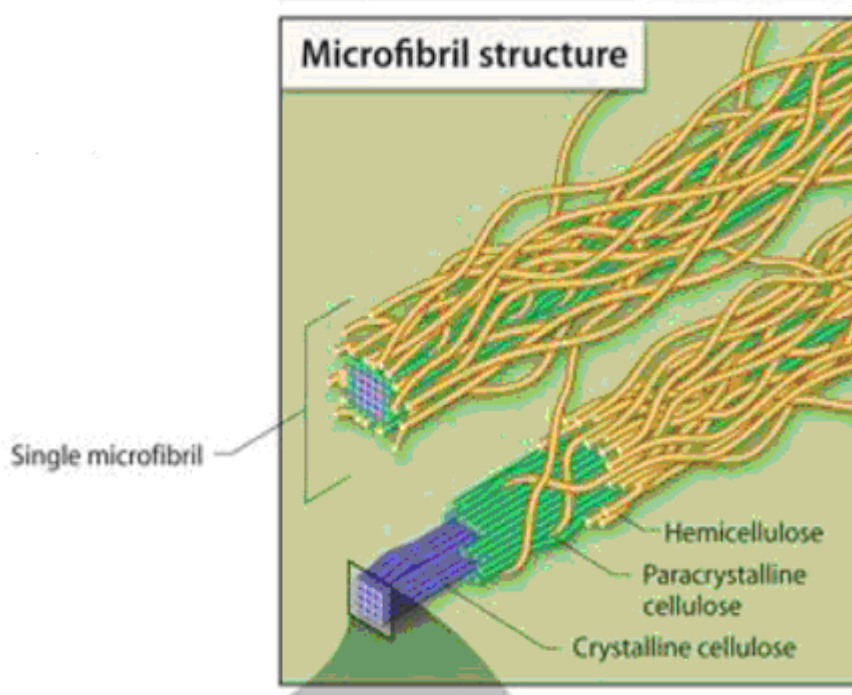


Figure I.14 : Structure de la microfaille de cellulose [18]

#### I.4.7. Fibres de polypropylènes

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfinés. Il est fabriqué depuis 1954 pour l'industrie textile. Il a connu une extension croissante dans ce domaine où il apporte les avantages suivants: bonne résistance à la traction qui peut atteindre 800 MPa, déformabilité élevée. Ces fibres sont obtenues suivant le processus d'extrusion, étirage qui confère une orientation prépondérante aux molécules et qui engendre des

propriétés mécaniques élevées. L'ajout de fibres de polypropylène au mortier et au béton remonte à 1960 mais ce n'est qu'à partir de 1967 qu'apparaissent des réalisations intéressantes notamment en Grande Bretagne. Ces fibres sont utilisées dans les bâtiments pour l'élaboration de panneaux décoratifs, ainsi que l'élaboration de revêtement de façades dans plusieurs constructions et aussi dans la réalisation des canalisations et des pieux [4].



**Figure I .15:** Fibres de polypropylène [19]

#### **I.4.8. Fibres de verre**

Ces fibres sont fabriquées à partir de verre fondu qui passe dans une filière, chauffé par effet Joule, qui comporte 50 à 800 trous d'un diamètre de l'ordre de 10 à 100  $\mu\text{m}$ . Elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines (découpage à la demande) ou sous forme de morceaux prédécoupés de 3, 6, 12, et 50 mm de long. Ils sont regroupés en trois types: La fibre de verre classique (silice, soude, chaux), la fibre de verre au zirconium et la fibre de verre au borosilicate [17].



**Figure I.16:** Fibre de verre [17].

**Tableau I.3:** Caractéristiques mécaniques des fibres de verre [17].

Type de verre	E	R	S
Résistance à la rupture $s_{fb}$ (MPa)	3400	4400	4900
Module d'Young E (GPa)	73	86	87
Masse Volumique $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.54	2.55	2.54

Ces fibres sont généralement caractérisées par les propriétés suivantes:

- bonne adhérence avec la matrice,
- disponibilité sous toutes les formes (coupées, continues ...),
- bonne résistance à l'humidité et à la corrosion,
- conductivité thermique relativement faible [17].

#### I.4.9. Fibres métalliques

Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été et reste encore l'objet de recherches très importantes dans le monde. On se limite aux fibres d'acier qui sont sans doute les plus utilisées dans le domaine du génie civil. En effet, les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interfaciale entre fibre et matrice. Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre, ce qui les conduit aux nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leur diamètre, leur section (ronde, carrée, rectangulaire), leur longueur et leurs modes d'opération. Les diamètres des fibres d'acier varient généralement entre 0.1 et 0.7 mm, avec des longueurs de 10 à 70 mm [4].



Figure I.17: Différentes formes de fibres [20]

Les fibres métalliques utilisées en dallage industriel sont le plus souvent des fibres tréfilées comportant généralement des fils de 1 mm de diamètre. Les différentes fibres existantes se différencient les unes des autres par le type d'ancrage actif dans la matrice du béton. Il existe des fibres fabriquées avec un ancrage dit déformable, par exemple des fibres à crochets telles que celles commercialisées par la société Bekaert sous la marque "Dramix" ou des fibres ondulées telles que celles commercialisées par la société Trefil Arbed. Cette société fabrique également une fibre commercialisée sous la marque "Twin-set" qui possède un cône indéformable à chacune de ses extrémités. Ce type d'ancrage est beaucoup plus rigide que l'ancrage obtenu par des crochets ou des ondulations.

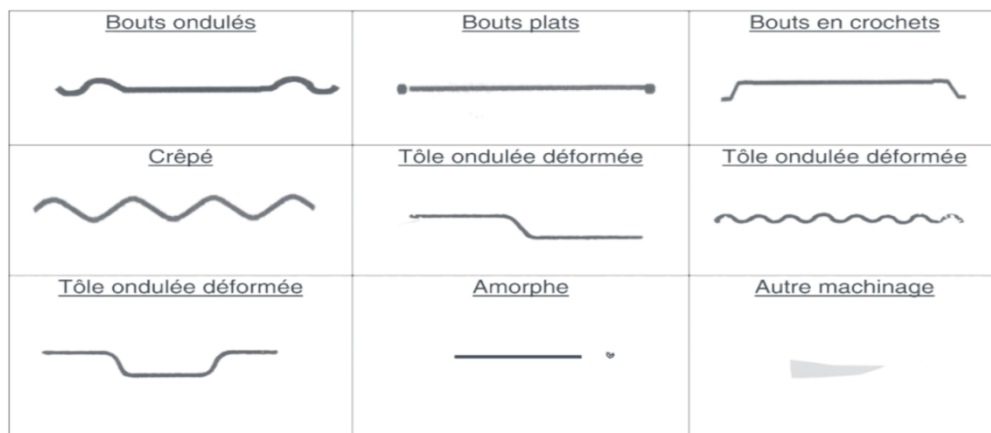


Figure I.18: Géométrie des fibres métalliques [21]

### I.5. Intérêt de l'utilisation des bétons de fibres

L'intérêt premier dans l'utilisation des fibres est le contrôle de la fissuration de béton [Narayanan et Darwish 1987] et [Cucchiara et al 2004] ont montré que les bétons renforcés de fibres présentaient une fissuration de flexion plus dense.

L'espace entre les fissures dans le cas d'un béton renforcé de fibres peut être divisé par 5. Ce phénomène est attribué à une distribution plus uniforme des efforts en présence de fibres. [Oh 1992] a mesuré l'ouverture de fissure à différents taux de chargement et a remarqué une réduction significative de leur largeur, ce qui témoigne de l'action des fibres vis-à-vis du contrôle de la fissuration

[Meda et al 2005] ont montré que les fibres métalliques réduisent considérablement l'ouverture des fissures d'effort tranchant. L'utilisation des fibres atténue la sévérité du mode de rupture et peut parfois faire basculer ce dernier d'une rupture fragile par cisaillement à une rupture ductile en flexion [Casanova et al 1997]. Toutefois, ce changement de mode de ruine dépend de caractéristiques mécaniques des matériaux, la configuration de chargement, ainsi que la quantité et le type de fibres utilisées [Narayanan et Darwish 1988].

D'autres études réalisées par [Furlan et de Hanai 1997] et [Li et al 1992] ont signalé une différence dans l'action des fibres polypropylènes qui sont moins efficaces par rapport aux fibres métalliques. Néanmoins, elles peuvent contribuer au contrôle de la fissuration jusqu'à des ouvertures de fissures plus larges [22].

## **I.6. Amélioration des caractéristiques mécaniques**

L'utilisation de fibres augmente la ductilité du béton, c'est-à-dire ses caractéristiques en post fissuration. De plus, l'utilisation de fibres peut apporter une amélioration en flexion, en tension, en torsion et en cisaillement ainsi qu'à la résistance aux impacts et à la fatigue. Un béton fibré continue donc à supporter des charges après la formation de fissures. L'augmentation de la capacité en flexion est obtenue grâce à l'augmentation de la résistance résiduelle par l'utilisation des fibres. Cette propriété est aussi fonction de la nature, de la quantité et de l'efficacité des fibres utilisées. Il est important de se rappeler que la distribution uniforme des fibres dans le mélange est la condition essentielle pour obtenir une amélioration des caractéristiques mécaniques du béton fibré. Il faut combiner tout apport de fibres dans le béton à des techniques d'insertion des fibres permettant d'éviter la formation « d'oursins » [21].

## I.7. Contrôle de la fissuration de retrait

Selon l'efficacité du type de fibres utilisé, il est possible de mieux contrôler et de diminuer le phénomène de fissuration et d'augmenter les propriétés mécaniques en post fissuration. Pour optimiser le contrôle de la fissuration, les fibres doivent être distribuées de manière homogène dans le béton tout en ayant un dosage adéquat. L'utilisation de fibres aide donc à diminuer la fissuration causée par le retrait plastique. Pour le béton durci, le retrait de séchage reste présent, mais les fissures sont mieux contrôlées. Les fissures sont donc plus minces, moins longues et mieux distribuées sur la surface totale de l'ouvrage. Elles peuvent même s'avérer invisibles à l'œil nu [21].

## I.8. Avantages du béton fibré

Les avantages de l'utilisation des fibres dans le béton sont présentés selon l'aspect technique et économique [21].

### I.8.1. Aspect technique

L'utilisation d'un béton fibré est avantageuse principalement au niveau du contrôle de la fissuration ainsi que du support de charge, tout dépendamment du type de fibres et du dosage utilisé. Les principaux avantages techniques sont:

- un renforcement tridimensionnel uniformément distribué à travers le béton;
- une augmentation de la ténacité grâce au comportement en post fissuration résistance résiduelle;
- une énergie d'absorption élevée;
- une résistance aux impacts élevée;
- une résistance à la fatigue élevée;
- une augmentation de la résistance en cisaillement [21].

### I.8.2. Aspect économique

Les principaux avantages économiques des bétons fibrés sont:

- une réduction des intervenants sur le chantier, ce qui implique une réduction du coût de mise en place et du temps de construction
- une optimisation du dimensionnement [21].

### I.9. Domaines d'utilisation du béton renforcé de fibres métallique

Depuis que le concept de béton de fibres a été conçu, de nombreux travaux de recherche ont montré que l'ajout de fibres d'acier dans une matrice de béton permet au composite (béton- fibres) d'augmenter ses caractéristiques mécaniques comme la résistance à la compression ou la résistance à la flexion. Mais ce type de béton n'est pas considéré comme un substituant aux bétons traditionnels, mais comme un matériau nouveau type, qui devient intéressant dans l'optique de la conception d'une structure performante.

Dans le tableau ci-dessous, on indique quelques sites où le béton de fibres a été utilisé


**Tableau I.4 :** Les sites où le béton de fibres a été utilisé [4].

APPLICATIONS	INTERETS APPORTES PAR L'AJOUT DES FIBRES DANS LE BETON
Canalisation et coque minces faiblement sollicitées.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration de la tenue des pièces aux jeunes âges.</li> <li>- Modification des variations dimensionnelles, lutte contre les fissurations.</li> </ul>
Dallage, chaussées en béton, dallage manufacturés, et tous éléments structurés et tous éléments structuraux soumis à la flexion.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminution de 40% de l'ouverture de fissures,</li> <li>- Augmentation de la rigidité après fissuration,</li> <li>- Augmentation de la résistance au cisaillement,</li> <li>- Augmentation de la résistance à l'usure.</li> </ul>
Éléments structuraux soumis à la compression (poteaux, pieux, fondations...etc.).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration de la charge ultime,</li> <li>- Pas de rupture catastrophique.</li> </ul>
Structures soumises à des Sollicitations pulsionnelles ex piste d'aéroport.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- l'énergie absorbée est plus importante,</li> <li>- la durée de choc est augmentée,</li> <li>- la loi de comportement du matériau est fortement modifiée.</li> </ul>
Réparation des revêtements routiers, tablier de ponts.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration de la résistance aux chocs,</li> <li>- Amélioration de la déformation.</li> </ul>
Parties exposées aux fortes variations de température et même aux hautes températures.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remplacement avec succès du revêtement réfractaire,</li> <li>- diminution le coût de réparation des éléments réfractaires</li> </ul>
Stabilisation des parois rocheuse, les talus, les tunnels, les galeries souterrains.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Évite le travail de fixation du grillage ordinairement employé,</li> <li>- Diminution du coût de réparation de stabilisation des parois rocheuses et les talus.</li> </ul>
Fabrication des pieux, revêtement ignifuges isolants (construction navale). Panneaux de revêtement de façade...etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation de la résistance aux chocs,</li> <li>- Augmentation de la résistance à l'usure,</li> <li>- Augmentation de la durabilité de revêtement.</li> </ul>

**Conclusion**

Plusieurs types de fibre sont utilisés pour renforcer le béton dans le cadre de développement des matériaux de construction qui respecte l'environnement « eco-friendly » en raison des avantages prometteuses que prenante leur propriété (mécanique, chimique) ainsi que l'aspect écologique en plus de leur disponibilité, les fibres sont aujourd'hui de plus en plus utilisé.

Les fibres font par conséquent partie de la nouvelle génération de matériaux de renoncement de béton et peuvent être incorporées dans diverses matrices pour en faire des matériaux plus écologique, légers et à le faible coût.

A decorative border resembling a scroll, with rounded corners and a vertical strip on the left side. The scroll is outlined in black and has a light gray shadow on the right side.

**Chapitre II**  
*Comportement  
mécanique des bétons de  
fibres métalliques*

## Introduction

Les fibres de différentes compositions incorporées au béton ont pour effet d'augmenter la résistance résiduelle du béton. Dans certains cas, l'utilisation de fibres permet de renforcer la structure. En général, les fibres permettent une meilleure répartition des contraintes mécaniques.

Ce chapitre prenant le rôle des fibres dans le béton et leur influence sur son comportement mécanique (résistance à la compression et à la traction) et en s'opposant à la propagation des micro-fissures.

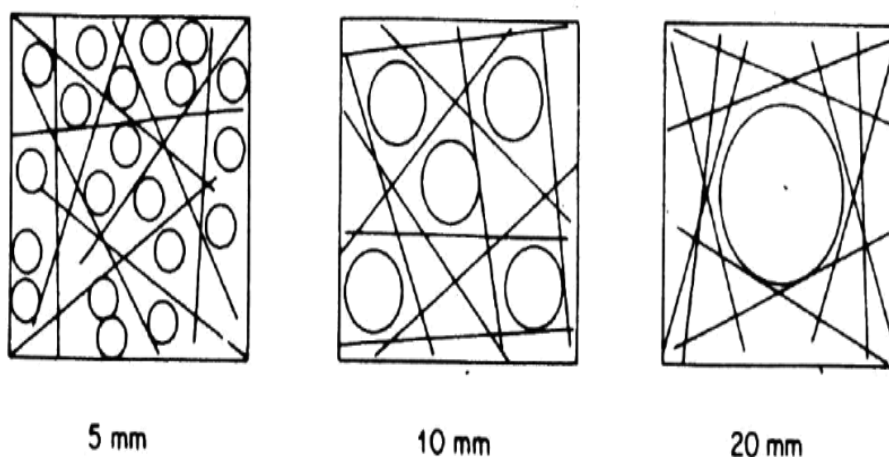
### II.1. Effet des fibres dans une matrice

La dimension des granulats est très importante pour avoir un bon béton résistant et maniable car avec une présence d'une certaine quantité de gros grains, le béton peut avoir une mauvaise ouvrabilité.

Les B.R.F sont composés, en plus des gros granulats, d'une quantité de fibres, qui en entrant en contact avec ceux-ci tend à figer leur mouvement, fait qui se répercute principalement sur la maniabilité.

Les multiples travaux de recherche montrent que la mise en œuvre des B.F.M. est souvent difficile et a toujours posé de problème.

Ainsi pour Faciliter cette mise en œuvre, la composition du béton ne doit en aucun cas contenir des éléments dont la taille est supérieure au quart de la longueur de la fibre (une dimension maximale d'environ 8 à 15 mm), c'est la raison qui fait que les bétons de sable se révèlent compatibles à l'inclusion des fibres [23].



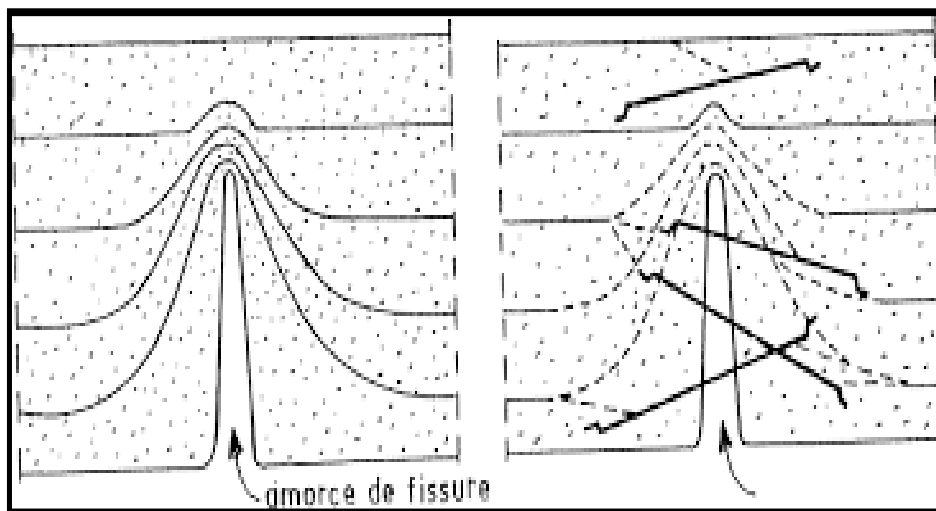
**Figure II.1:** Effet de la taille d'agrégat sur la distribution des fibres dans un carré avec une longueur égale à la longueur d'une fibre [23].

## II.2. Rôles 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 micro-fissures. Elles peuvent également dans certaines applications remplacer les armatures passives (les ouvrages minces) [24 .25].

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 résistance aux chocs.
- la résistance à l'usure.
- La résistance à l'abrasion.
- la résistance mécanique du béton aux jeunes âges.
- la tenue au feu;
- la réduction des conséquences du retrait par effet de couture des microfissures comme il est indiqué dans la figure II.2.



**Figure II.2:** Schémas descriptif comment les fibres couvrent les microfissures [4]

- la transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes voir figure II.3.

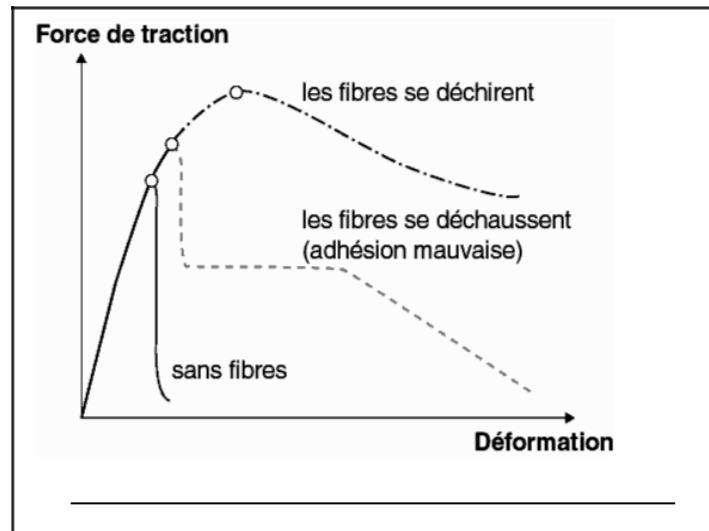


Figure II.3: comportement de charge – déformation de béton avec fibres et béton sans fibres [26]

### II.3. Influence de l'adhérence fibre –matrice

L'adhérence fibres – matrice est un facteur très important vis-à-vis de l'efficacité des fibres dans la matrice. D'après Bartos (1981), l'adhérence entre fibres et matrice est assurée par trois liaisons [23] :

- une liaison élastique,
- une liaison de frottement,
- une liaison créée par un ancrage mécanique dans le cas des fibres non rectilignes (crochets ondulation dentelles).

Des essais d'arrachement effectués par Eurosteel sur les fibres ondulées (1982) montrent que la résistance d'adhérence dépend de la teneur en ciment dans la matrice. Il existe une teneur en ciment voisine de 400 à 500 Kg/m<sup>2</sup> [7].

### II.4. Influence de la géométrie de la fibre

Plusieurs types de fibres ont fait l'objet de beaucoup de recherches, mais il est prouvé que les seuls types de fibres susceptibles d'augmenter la résistance à la traction du béton, par la transmission d'une palpable énergie de plastification et de rupture, sont celles dotées d'un système d'ancrage. Les deux prérogatives qui en découlent sont:

- En se plastifiant, l'ondulation diffuse, dans le béton, une énergie capable de multiplier par 2.5 celle de la rupture en traction de la fibre.
- Contrairement aux autres types de fibres, celles ondulées sont capables de s'agripper au béton. En effet, l'existence d'ondulations le long de ces fibres créent des réactions de butées et s'opposent par le fait au déchaussement de ces fibres [10].

## II.5. Influence de la longueur des fibres

Avec le béton de fibres en copeaux, pour des pourcentages 0,3; 0.5 ; 1 ; 1,5 ; 2 et 2,5%, et des longueurs de 30 et 50 mm, on peut conclure que pour les faibles pourcentages, la longueur n'affecte que très peu le comportement des éprouvettes en traction. Par contre, plus le pourcentage augmente, plus l'effet de la longueur des fibres est important. A pourcentage égal, les fibres les plus longues sont plus efficaces pour couvrir les fissures. L'effort nécessaire à l'arrachement des fibres ainsi que l'énergie de rupture sont plus importants [17].

## II.6. Influence du pourcentage en fibres

La figure II-4 montre l'influence du pourcentage en fibres sur le comportement des éprouvettes soumises à la traction par flexion. Pour chaque longueur de fibre, le phénomène est clairement mis en évidence tout en comparant les différentes courbes au béton témoin (sans fibres). Il apparaît que les fibres apportent une ductilité aux matériaux, la rupture devient ductile au lieu de fragile. L'effort maximal à la première fissuration ainsi que l'énergie de rupture augmentent en fonction du pourcentage en fibres [27]

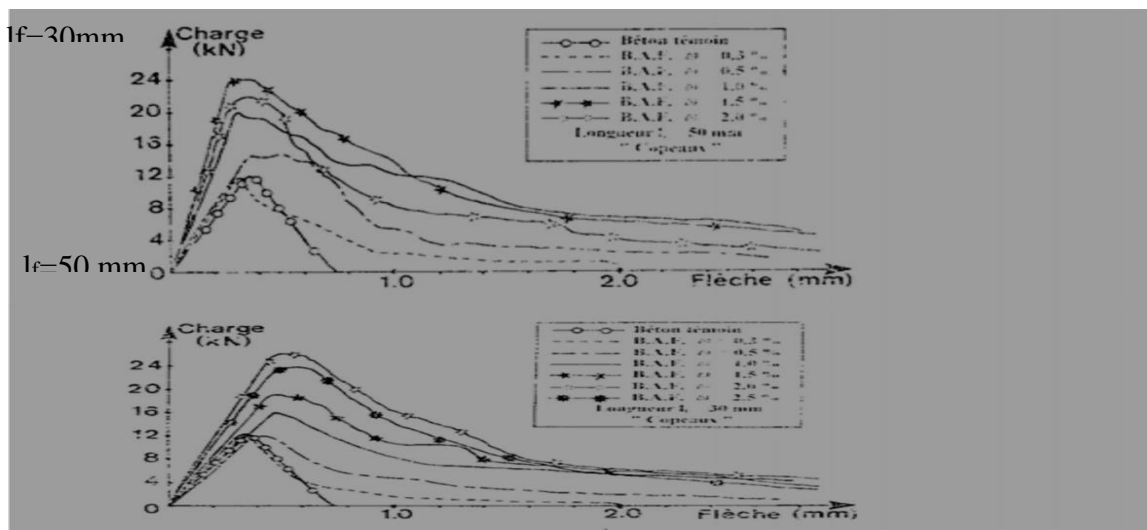


Figure II.4: Influence de la longueur des fibres sur la résistance à la traction par flexion [27]

## II.7. Influence du type de fibres

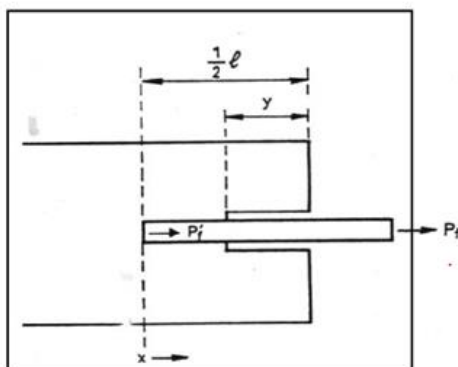
Le comportement global des éprouvettes de deux types de béton (béton armé de fibres Dramix et béton armé de fibres locales, en copeaux, de longueur de 30 et 50 mm, avec des pourcentages de 0,5 et 1%) est sensiblement le même pour les deux types d'éprouvettes. L'ajout des fibres au béton apporte une certaine ductilité. Pour une longueur de fibres égale à 30 mm et un pourcentage en fibres de 1%, le résultat est meilleur avec les fibres en copeaux.

Cependant, en ce qui concerne l'énergie de rupture, elle est plus importante dans le cas des éprouvettes armées de fibres Dramix (pour  $l_f = 50$  mm). Ceci peut s'expliquer par le fait que ces fibres présentent un système d'ancrage, elles sont munies de crochets aux extrémités. L'adhérence fibres-matrice (béton) est ainsi meilleure [30].

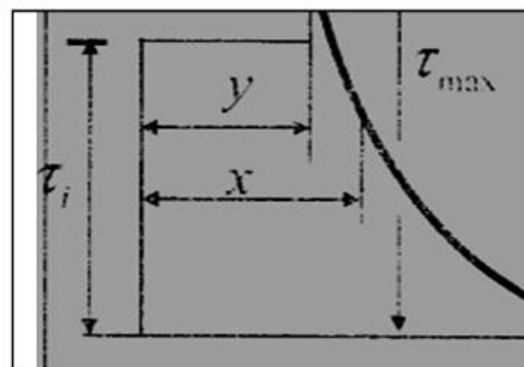
## II.8. Mécanisme de rupture d'une fibre dans la matrice

La résistance à la fissuration et la résistance ultime du composite dépendent du transfert des efforts matrice- fibre. Lorsque la fibre est soumise à un effort d'arrachement, le transfert des charges à l'interface s'effectue par les contraintes d'adhérence. La distribution de ces contraintes le long des parties ancrées des fibres associées aux modèles de comportements utilisés peut être éventuellement confirmée par des essais simples comme celui de «pull-out».

Ces essais peuvent nous ramener à déterminer des relations entre divers paramètres géométriques et mécaniques utilisables et permettre de définir et déterminer les coefficients d'efficacité des fibres [4].



**Figure II.5 :** Géométrie d'une fibre décollée  
contrainte de matrice sur une longueur [4]



**Figure II.6:** Distribution des contraintes  
d'adhérence après décollement [4]

Le modèle mathématique associé au mécanisme du décollement des fibres suppose un comportement élastique de la matrice et des fibres, lorsque le composite est soumis à un effort de traction. Les contraintes latérales de la matrice et des fibres sont négligées, c'est-à-dire que le transfert des contraintes de la matrice vers les fibres se traduit uniquement par des contraintes de cisaillement à l'interface fibre- matrice.

Les figures II. 5 et II.6 schématisent le principe de ce concept. Le mécanisme du décollement de la rupture de la fibre est le suivant :

1. Rupture de la fibre ( $l \geq l_c$ ): la longueur critique  $l_c$  définit une longueur pour laquelle la fibre atteint sa contrainte de rupture  $\sigma_{fu}$  pourvu que la contrainte de cisaillement maximale  $\tau_{max}$  reste inférieure à une valeur  $\tau_u$  de cisaillement ultime à l'interface fibre-matrice. Dans ces conditions, il n'y aura pas de décollement, mais rupture de la fibre.
2. Décollement partiel ( $l < l_c$ ): ici, il y a décollement si la force exercée sur la fibre est telle que  $\tau_{max}$  ( $x=0.5$ ) égale à la contrainte  $\tau_u$  contrainte de cisaillement ultime à l'interface. Le décollement se poursuit tant que  $\tau_{max}$  (dont la valeur décroît au fur et à mesure que l'ancrage diminue) n'est pas inférieur à  $\tau_u$ .
3. Décollement catastrophique: il existe une longueur d'ancrage particulière,  $l_{min}/2$  pour laquelle le décollement se poursuit sans accroissement de  $P_f$ . Cette longueur, qui dépend du rapport  $\tau_u/\tau_i$ , est donnée par des relations rapportées dans les travaux de LAWRENCE. D'autres théories basées sur des modèles mathématiques purs ou bien sur des simulations ont été rapportées. Mais en général, ces modèles et ces théories ont permis de bien comprendre le comportement de la fibre ancrée dans une matrice durcie.

## II.9.Résistance des bétons de fibres en compression

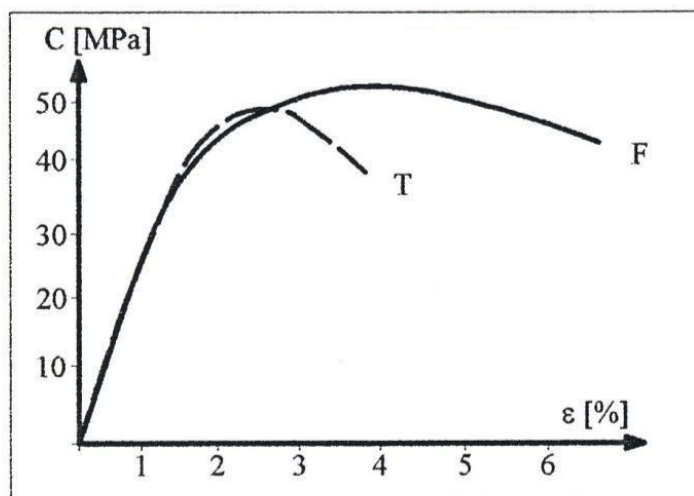
Le comportement en compression du béton renforcé de fibres se résume en trois phases qui sont les trois parties indissociables du diagramme effort-déformation [27]:

- La première phase, avant microfissuration, est traduite par une partie linéaire de la courbe,

- Effort – déformation : celle-ci est identique à celle du béton témoin pour toute valeur de l'effort inférieure à 50% de la charge de rupture. Cela nous permet de dire que le module de Young est insensible à la présence des fibres durant cette phase.

La seconde phase est représentée par un diagramme courbé, durant laquelle la courbe relative à un BFM commence à se démarquer de celle du béton témoin. Ceci est dû à l'amorçage des microfissures et par conséquent la mise en service des fibres qui se mettent en tension.

- Dans la dernière phase, qui va dans une direction descendante, les fibres reprennent la quasi- totalité de l'effort tout en maintenant le béton fissuré, en un seul bloc.
- D'après SERNA ROS(1984), la résistance ultime et le module d'élasticité d'un BFM sont très proches de ceux du béton témoin. Néanmoins, les fibres nourrissent le béton, au-delà du pic, d'une énergie, produisant ainsi un comportement ductile et corrélativement une augmentation de la déformation à la rupture voir figure II.7.



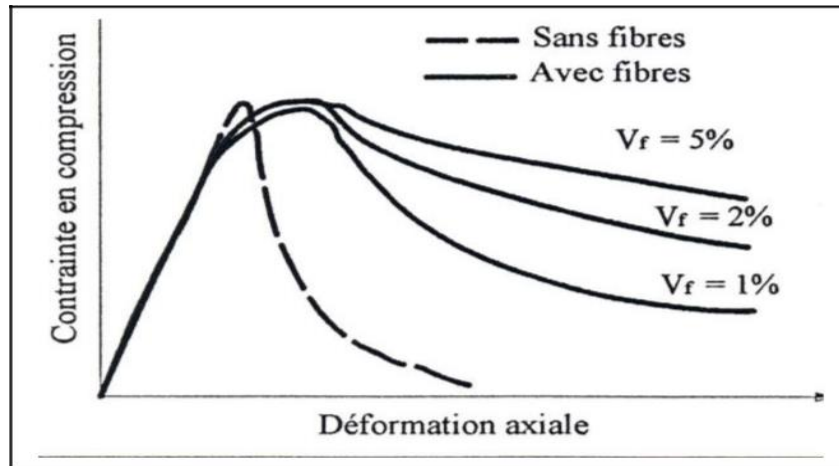
**Figure II.7:** Courbe contrainte déformation en compression du béton de fibre (SERNA ROS, 1984).

Avec:

- T : Béton sans fibres.
- F : Béton de fibres métalliques à crochets, différentes compositions de matrices sont testées

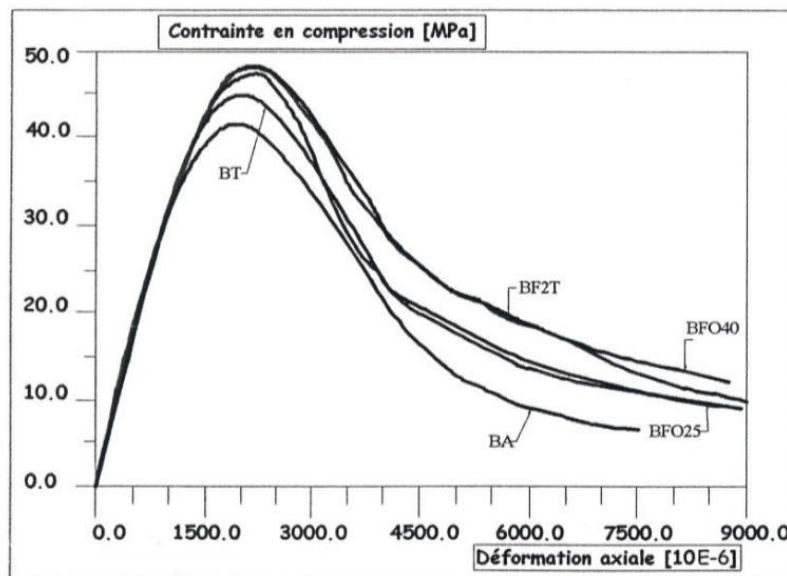
Dans cette optique, FENELLA.D.A et AL (1985) ont montré, de par l'expérience, que plus le dosage en fibres est considérable, plus la dispersion de la partie descendante de la

courbe effort-déformation est significative. La figure qui suit nous montre que le renforcement du béton par des fibres se retrouve sensiblement plus résistant, et nettement plus ductile [27].



**Figure II.8:** Influence du dosage en fibres lors d'essai de compression [27].

A l'évidence, ZHAN (1991), a montré que les fibres métalliques dans le béton (comparativement à un béton témoin) augmentent sa résistance de 20%. Dans la série d'essais qu'il a entrepris sur des éprouvettes asservies avec un âge de 227 jours. Il a constaté que ce plus en résistance est beaucoup plus faible (de l'ordre de 7%) [27].



**Figure II.9:** Courbe contrainte déformation de compression sur éprouvettes asservies du béton de fibre [27].

Dans le but d'affûter les résultats, des essais de compression ont été réalisés au LCPC, en prélevant par sciage, des éprouvettes de dimensions  $20 \times 20 \times 50 \text{ cm}^3$  d'un gros massif de béton de fibres DRAMIX, un autre à base de fibres FIBRAFLEX et comme à l'accoutumée un béton témoin servant de référence.

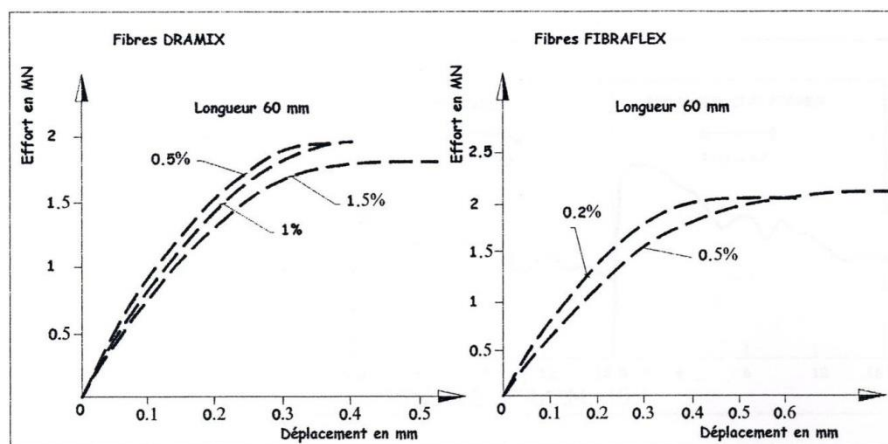
Il est admis que l'ajout de fibres n'améliore en rien la résistance d'un béton à la compression comparé à celui de référence [28].

Puis, on observe une diminution du module de Young ainsi que la contrainte au pic. Toutefois la ductilité, qui dépend du type et de la géométrie de la fibre mais aussi du pourcentage en fibres, se trouve accrue voir figure II. 8 [29].

Pierre ROSSI quant à lui a choisi, pour expliquer cette baisse en résistance, d'emprunter un chemin plus simple, en se servant des formules de FERET. Selon lui, la chute de la résistance et du module de Young des BFM s'explique que celui-ci contient une quantité plus considérable de sable et de pâte de ciment que celle d'un béton ordinaire, mais aussi à cause d'une porosité plus élevée [29].

En tout état de cause, le fait de ne pas considérer la quantité de gravier en moins dans un BFM, identifiée par rapport à un béton sans fibres pourra d'une manière ou d'une autre fausser les résultats [29].

Il est à rappeler que dans cette étude, les chercheurs du LCPC ont accordé une grande importance à l'utilisation de la méthode Baron-Lesage en ciblant la substitution, par les fibres, des armatures transversales.



**Figure II.10:** Diagrammes effort-déplacement en compression en fonction du type et du pourcentage en fibres [29]

## II.10. Essais de traction par Flexion

Le béton testé au cours de cette étude [30] est renforcé de fibres de Dramix et les fibres en copeaux de longueur 50 mm et 30 mm. Les corps d'éprouvettes sont de forme prismatique de dimensions 100x100x400 mm, ils sont soumis à l'essai 28 jours après le coulage. Ils reposent sur deux appuis distants de 300 mm (centrés) et sont soumis à une charge verticale, appliquée au milieu de la travée centrale. La charge est appliquée progressivement à vitesse de chargement contrôlée, et ce jusqu' à la rupture pour chaque type de béton.

La courbe charge-flèche est ensuite enregistrée. L'allure des courbes obtenues, lors de l'essai de traction par flexion des éprouvettes, est donnée à la figure II.11.

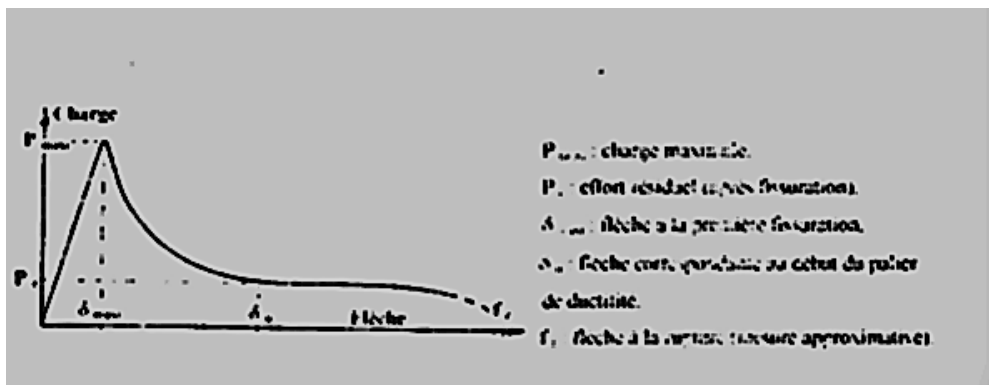
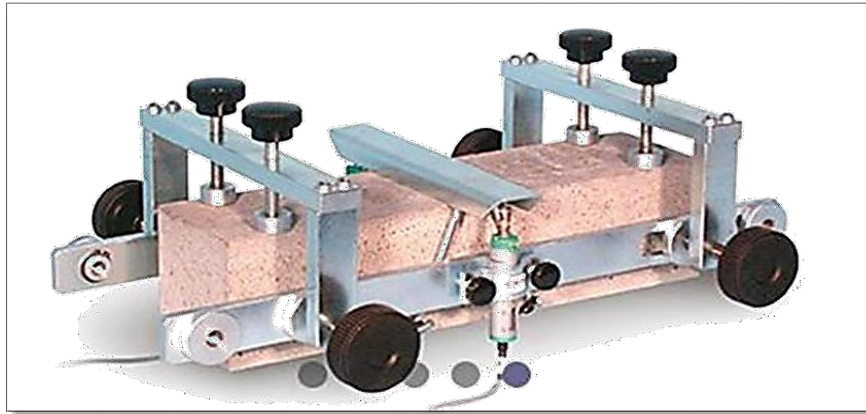


Figure II.11: Allure des courbes charge-flèche [30].

La courbe comporte une première phase, élastique linéaire jusqu'à atteinte de l'effort maximal correspondant à l'apparition de la première fissure. Cet effort maximal est fonction du pourcentage en fibres.

La deuxième phase est caractérisée par une branche descendante plus au moins ductile. A ce stade, les fibres sont sollicitées en traction. Elles interviennent en "cousant" les fissures et en limitant leur ouverture. La longueur des fibres ainsi que le pourcentage deviennent des paramètres importants. En effet, l'effort nécessaire à l'arrachement des fibres est fonction de la longueur adhérente et du système d'ancrage (crochets pour les fibres Dramix). En ce qui concerne le pourcentage, plus celui-ci est important plus le nombre de fibres cousant la matrice est important. Enfin, dans la troisième phase, la courbe tend à s'aplatir et ne s'annule qu'après une grande déformation. Il y a une réduction des efforts due à l'existence des fibres au niveau de la fissure. Cet effort qui permet au matériau de résister

encore est appelé effort résiduel. La rupture survient ensuite soit par arrachement, soit par rupture des fibres [30].



**Figure II. 12:** Vue du dispositif d'essai (machine Tribel OPM) [32]

## Conclusion

L'introduction des fibres dans une matrice béton amène une certaine ductilité au comportement mécanique du matériau, cet ajout retarde la microfissuration et permet de retenir les "morceaux" en cas de rupture accidentelle. Il a été mis en évidence une légère augmentation de la résistance à la compression et aussi à la flexion. Cependant, il y a certaines précautions à prendre quant à la mise en œuvre de ce matériau, puisque les fibres modifient la maniabilité. Les pourcentages maximums de fibres incorporées restent limités compte tenu des problèmes liés à la mise en œuvre (formation d'oursins et pelotes donc création de porosité au sein de la matrice).

Cette étude bibliographique nous a permis de distinguer plusieurs types de fibres ainsi que leurs utilisations, propriétés et leur comportement. Dans la seconde partie de ce travail, une étude expérimentale va porter sur la maniabilité de fibres métalliques. Des essais mécaniques à la compression et la traction par flexion sur trois points sont aussi effectués sur de différente variante de fibres .



**Deuxième partie**  
*Étude*  
*Expérimentale*



**Chapitre III**  
*Présentation des  
matériaux*

## Introduction

Le but du présent chapitre est de présenter les caractéristiques des matériaux utilisés, les compositions des bétons et le dispositif expérimental mis en place.

Lors de cette étude expérimentale investie au laboratoire de Génie Civil de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, plusieurs éprouvettes de béton sont confectionnées, dans lesquels nous essayons de valoriser le comportement d'un béton renforcé par des fibres métalliques. À la lumière des résultats des essais mécaniques à la compression et à la traction par flexion trois points, une interprétation, sous forme de tableaux, histogrammes et courbes, sera présentée pour en quantifier l'apport en terme de résistance dans le matériau béton.

Pour les besoins des essais mécaniques de compression et de traction, nous avons réalisé plusieurs gâchés en faisant varier la forme des fibres (droite ; ondulée) ainsi que la longueur (3 et 5 centimètres) avec différents pourcentages de fibres. Pour chaque variante, un total de trois éprouvettes ont été réalisées.

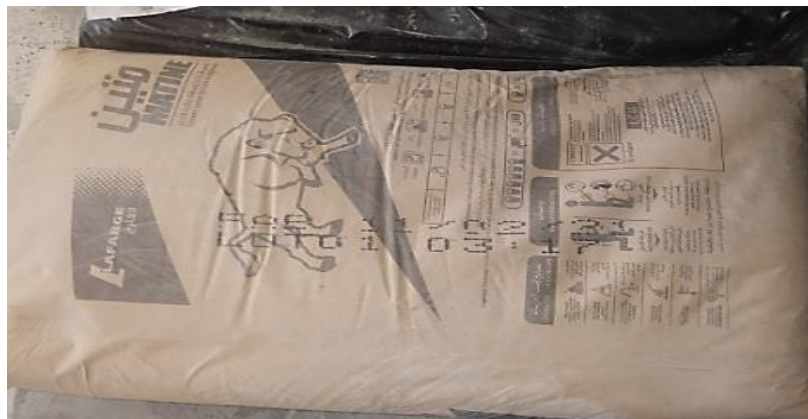
### III.1. Composition du béton

Dans ce programme expérimental principal, un type de mélange de béton a été utilisé pour la fabrication des différents spécimens à étudiés. La formulation de ce béton a été déterminée à partir de la méthode de Dreux-Gorisse. Les constituants du béton sont classiques tels que :

Le ciment, l'eau, le sable, les granulats et un adjuvant (Sikaplast BV 40+).

#### ❖ Le ciment

Le ciment utilisé pour la confection de nos éprouvettes est de type CPJ-CEMII/B de classe 42,5



**Figure III.1** : le ciment (CPJ-CEMII/B)

### ❖ Les sables

Les sables utilisés sont les sables appelés “sable normalisé”. Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les interstices entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide.

Certains sables sont à éviter, notamment les sables très fins, les sables crus qui manquent de fines et les sables de dunes ou de mer qui contiennent des sels néfastes pour les constituants des ciments, par contre ils doivent être propres. Le sable que nous avons utilisé pour notre béton provient de l'Oued Sébaou de Tizi-Ouzou de diamètre maximum de 0,3mm. Il est lavé pour réduire les impuretés puis séché en l'exposant au soleil.



**Figure III.2:** le sable

### ❖ Les granulats

Les granulats doivent avoir une bonne granulométrie dans le diamètre varie de plus petit au plus gros. Les granulats que nous avons utilisés, sont de natures concassés (3/8, 8/16) Leur diamètre varie de 3 à 16mm, ont été lavés puis séchés au soleil et conservés dans des sacs à l'intérieur du laboratoire (granulats sec et propres).



Gravier 8/16

Gravier 3/8

**Figure III.3** : Les graviers

### ❖ Les adjuvants

L'incorporation des fibres dans le béton diminue considérablement la maniabilité du mélange, l'utilisation d'un plastifiant permet d'augmenter l'ouvrabilité du béton en diminuant la porosité du matériau. Pour les essais de laboratoire nous avons utilisé un plastifiant commercialisé sous le nom Sikaplast BV 40+.

**Figure III.4:** Plastifiant Sikaplast BV 40+.

### ❖ L'eau

L'eau de gâchage utilisée est celle du robinet (eau potable).

## III.2 Analyse granulométrique

La composition d'un béton a pour but de déterminer les proportions des divers constituants (ciment, eau, sable, graviers) donnant un béton dont l'ouvrabilité est compatible

avec les moyens de mise en œuvre et qui possédera, après durcissement, les meilleurs caractéristiques (bonne étanchéité, bonne résistance mécanique, faible retrait, bonne durabilité...) possible.

La définition de ces proportions passe d'abord par l'essai de l'analyse granulométrique pour en choisir une méthode de composition de béton parmi celles proposées par des spécialistes tels que Bolomey, Faury, Vallette, Dreux-Gorisse, Joisel...etc.

### III.2.1. Principe de l'essai

L'essai consiste à fractionner, au moyen d'une série de tamis, un matériau en plusieurs catégories de grains décroissantes.



Figure III.5 : Tamiseuse

### III.2.3. Description de l'essai

Les granulats utilisés pour préparer le béton sont de forme concassée, leur diamètre est de 0/3,3/8 et de 8/15. Une fois lavés, ces matériaux sont séchés. On emboîte les tamis les uns sur les autres dans un ordre décroissant du fond de la colonne vers le bas. En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fillers. Un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau pendant le tamisage. On appellera tamisât le poids de matériau passant à travers un tamis donné et refus le poids de matériau retenu par ce même tamis.

Le matériau étudié est versé en haut de la colonne de tamis et celle-ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique. On considère que le tamisage est terminé lorsque le refus ne varie pas.

Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé. Soit R1, la masse de ce refus. Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent. Soit R2, la masse des deux refus. Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés Rn, aux différents niveaux de la colonne de tamis. Le tamisât présent sur le fond de la colonne de tamis est également pesé. Les résultats des différents tamisages sont présentés dans les tableaux (III.1, III.2, III.3).

**Tableau III.1:** Analyse granulométrique pour le sable

<b>Dimension des tamis [mm]</b>	<b>Refus [g]</b>	<b>Refus [%]</b>	<b>Refus cumulés [%]</b>	<b>Tamisât [%]</b>
3.15	0	0	0	100
2.00	55	2.75	02.75	97.25
1.25	740	37	39.75	60.25
0.50	820	41	80.75	19.25
0.315	275	13.75	94.50	5.25
0.16	95	4.75	99.25	0.75
0.125	10	0.5	99.75	0.25
Fond de tamis	5	0.25	100	0

**Tableau III.2:** Analyse granulométrique pour le gravier 3/8

<b>Dimension des tamis[mm]</b>	<b>Refus[g]</b>	<b>Refus cumulés [g]</b>	<b>Refus cumulés [%]</b>	<b>Tamisât [%]</b>
10	0	0	0	100
8	25	25	1,25	98,25
6,3	285	310	15,5	84,5
5	1095	1405	70,5	29.5
3,15	520	1925	96,25	3.75
2	40	1965	98,25	1,75
fond de tamis	35	2000	100	0

**Tableau III.3:** Analyse granulométrique pour le gravier 8/16

<b>Dimension des tames[mm]</b>	<b>Refus[g]</b>	<b>Refus cupules[g]</b>	<b>Refus cumulés[%]</b>	<b>Tamisât[%]</b>
20	0	0	0	100
16	85	85	4.25	95.75
12.5	730	815	40.75	59.25
10	595	1410	70.5	29.5
8	390	1800	90	10
6.3	170	1970	98.5	1.5
Fond de tamis	30	2000	100	0

Les différents tableaux ci-dessus nous permettent de tracer les courbes granulométriques pour chaque type de granulats, voir figure (III.6)

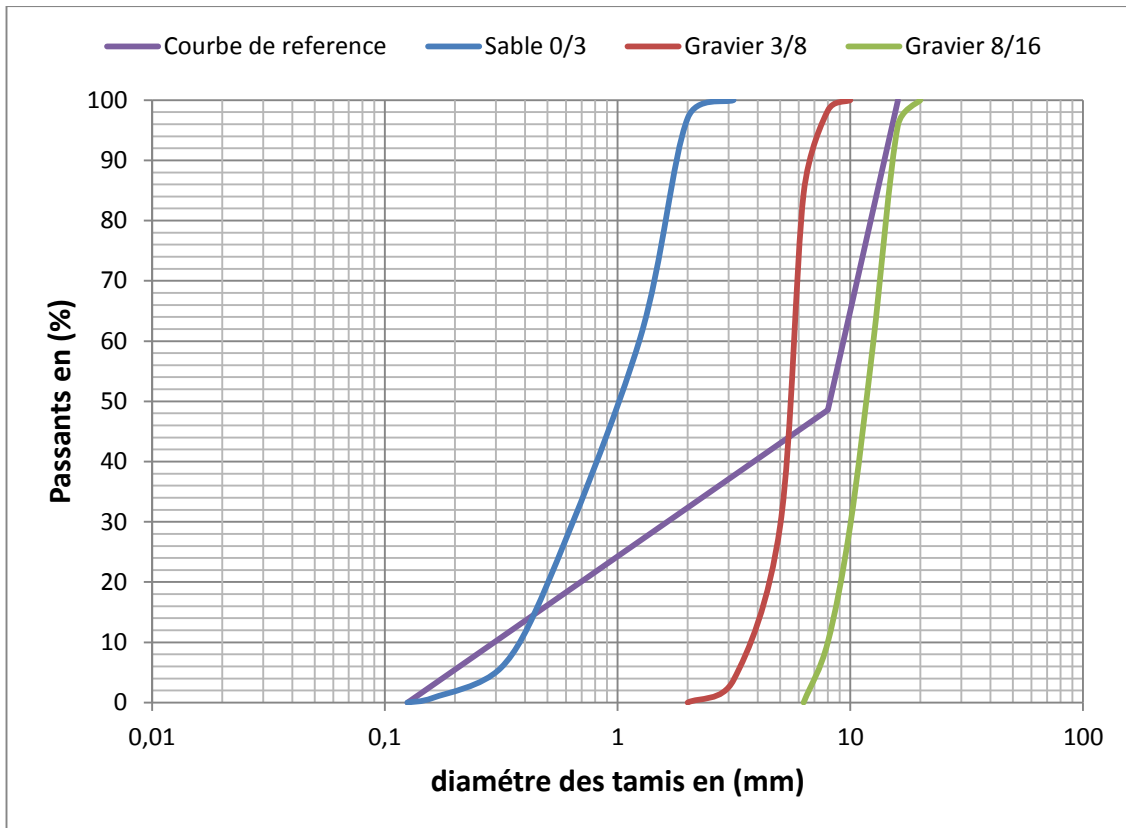


Figure III.6: Courbe Granulométrique.

### III.2.4. Module de finesse

Tableau III.1: Analyse granulométrique pour le sable avec M = 2000g

Dimension des tamis [mm]	Refus [g]	Refus [%]	Refus cumulés [%]	Tamisât [%]
3.15	0	0	0	100
2.00	55	2.75	02.75	97.25
1.25	740	37	39.75	60.25
0.50	820	41	80.75	19.25
0.315	275	13.75	94.50	5.25
0.16	95	4.75	99.25	0.75
0.125	10	0.5	99.75	0.25
Fond de tamis	5	0.25	100	0

Par définition le module de finesse représente le centième de la somme des refus (exprimé en pourcentage de poids) aux tamis de 0.125; 0.16; 0.315; 0.5; 1.25; 2; 3.15 mm. ( $\Sigma$  des refus = 1995 [g]). Ce module est particulièrement appliqué aux sables dont il est une

caractéristique importante.

- Un module de finesse élevé correspond à un sable grossier:  $2,8 < M_f < 3,2$
- Un module de finesse moyen correspond à un sable préférentielle  $2,2 < M_f < 2,8$
- Un module de finesse faible correspond à un sable fin  $1,8 < M_f < 2,2$

La valeur du module de finesse dépend surtout de la teneur en grains fins du sable.

$$M_f = \text{refus sur les tamis} = \frac{0.125 + 1.16 + 0.315 + 0.5 + 1.25 + 2 + 3.15}{100}$$

$$M_f = \frac{99.25 + 94.5 + 80.75 + 39.75 + 2.75}{100} = 3.17$$

On peut noter que c'est un sable grossier qui correspond à des sables à utiliser pour la recherche de résistances élevées.

### III.2.5. Masse volumique absolue et apparente

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Comme on distingue le volume absolu et le volume apparent (figure III.7).



Figure III.7: Mesure de la masse volumique absolue et apparente.

Les résultats sont représentés dans le tableau (III.4).

Tableau III.4: Masses volumiques absolue et apparente des granulats.

Granulats	Sable (0/3)	Gravier (3/8)	Gravier (8/15)
Masse volumique absolue [g/cm <sup>3</sup> ]	2.61	2.72	2.72
Masse volumique apparente [g/cm <sup>3</sup> ]	1.71	1.55	1.51

### III.3 Composition de béton par la méthode de DREUX – GORISSE

Pour la formulation du béton ordinaire (témoin) nous avons choisi la méthode de DREUX-Gorisse qui permet de déterminer les quantités optimales de matériaux pour 1m<sup>3</sup> de béton. Cette méthode a l'avantage d'être issue de nombreuses formulations ayant été testées sur chantier et ayant données satisfaction. Elle est très simple d'utilisation, elle ne demande que la connaissance des courbes granulométriques des granulats [31].

Les étapes de la méthode sont récapitulées dans les paragraphes suivants.

#### ➤ Résistance visée

Par sécurité, la résistance visée doit être majorée de 15% par rapport à la résistance que l'on souhaite obtenir. Ainsi, la résistance visée doit être obtenue comme suit:

Soit la résistance désirée pour un béton témoin à 28 jours =26MPa

La résistance visée pour un béton témoin à 28j est telle que:

$$R'_{28} = \sigma'_{28} * 1.15 = 29.9 = 30 \text{ MPa}$$

#### ➤ Dosage en ciment et en eau

La formule ci-dessous permet le calcul de la résistance à la compression visée à 28 jours,

$$\text{Soit : } R'_{28} = G\sigma'_c (C/E - 0.5)$$

Avec :

- $C/E = R'_{28} / G\sigma'_c + 0.5$
- $R'_{28}$ : Résistance visée à 28 jours.
- $\sigma'_c$ : Classe vraie de ciment en MPa.
- $G$ : Coefficient granulaire.
- $C$ : Dosage en ciment (Kg de ciment /m<sup>3</sup> de béton).
- $E$ : Dosage en eau (Kg d'eau /m<sup>3</sup> de béton ou litre d'eau par m<sup>3</sup> de béton).

#### ➤ Choix approprié du coefficient granulaire G:

G est un coefficient granulaire sans dimension dont la valeur est choisit dans le tableau ci- après, établi par George DREUX [31].

Tableau III.5: Valeurs approximatives du coefficient granulaire.

Qualité granulats	Dimension D des granulats		
	D ≤16mm	25 ≤D≤40mm	D ≥63mm
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Les granulats utilisés ont un diamètre inférieur à 15 mm, ce qui donne un coefficient granulaire  $G=0,45$  avec une bonne qualité.

➤ **Choix de la classe vraie de ciment:**

Le ciment CEM CPJII42.5, de classe vraie estimée à 42,5MPa a été retenu. Le rapport C/E est donné par :

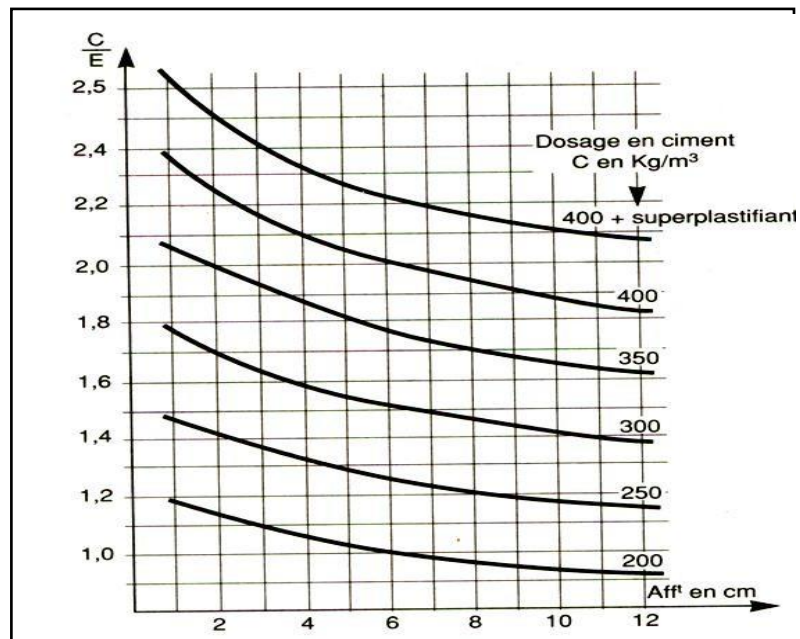
$$\frac{C}{E} = \frac{30}{0.45 \times 42.5} + 0.5 = 2.069 \quad (E/C=0.483)$$

➤ **Dosage en ciment par m<sup>3</sup> de béton :**

Connaissant le rapport C/E et l'affaissement au cône d'ABRAMS souhaité A, on en déduit, grâce à l'abaque (Figure III.8), le dosage en ciment correspond :

$$\left. \begin{array}{l} C/E = 2.069 \\ A = 6 \text{ cm} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{L'abaque (Figure III.8) donne la valeur du dosage en ciment égale à} \\ C = 400 \text{ Kg} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} C/E \approx 2.069 \\ C = 400 \text{ Kg} \end{array} \right\} \text{D'où: } E = 193.33 \text{ Kg}$$



**Figure III.8:** Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône)

### ➤ Tracé de la courbe granulaire de référence

Cette courbe correspond au mélange des granulats (sable+graviers, mais ciment non compris). Sur le même graphe d'analyse granulométrique (pourcentage des tamis en fonction du module ou diamètre des tamis), déjà obtenu on trace une courbe granulaire de référence OAB, avec :

- Le point O est repéré par ses coordonnées : [0,080; 0].
- Le point B est repéré par ses coordonnées : [D;100] (D: le diamètre du plus gros granulat)
- Le point de brisure A, a les coordonnées suivantes:

En abscisse:

Si  $D < 20$  mm, l'abscisse est à  $D/2$ .

Si  $D > 20$  mm, l'abscisse est située au milieu, limité par le module 38 (5mm) et celui correspondant à D.

Le point de brisure a pour abscisse 8mm ( $D/2 = 8$ mm), car le diamètre du plus gros granulat utilisé étant de 16. En ordonnée :  $Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_s + K_p$

Avec :

K : coefficient qui dépend du dosage en ciment, de l'intensité de vibration, et de la forme des granulats (roulés ou concassés). Comme on a : Le dosage en ciment

Vaut  $400\text{Kg/m}^3$ , une vibration normale, granulats de forme concassée. La valeur de K étant alors égale à zéro ( $K = 0$ ) (tableau 10.12 de [31]).

KS : coefficient tenant compte du module de finesse du sable  $M_f$ . Comme le module de finesse du sable vaut 2.54, la valeur de KS est calculée par la formule suivante

$$KS = 6M_f - 15 = 4.02$$

$K_p$ : coefficient de palpabilités, on peut prendre en générale

$K_p = +5\%$  à  $10\%$  Notre béton n'est pas de qualité palpable,

alors  $K_p = 0$ .

D'où: 
$$Y = 50 - \sqrt{20 + 4.02 + 0 + 0} = 48.55$$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure A sont : [8; 48.55]

### ➤ Les lignes de partage

La droite de partage relie le point 95% (tamisât) d'un granulats au point 5% du granulats suivant. Les points d'intersection des lignes de partage avec la courbe brisé donnent en cumulés les pourcentages correspondant aux différents granulats successifs. Il s'agit de pourcentages en volumes absolus. Sur la courbe granulométrique, les points d'intersections entre les lignes de partage et la courbe de référence OAB donnent les pourcentages des granulats suivants :

**Tableau III.6:** les pourcentages des constituants.

<b>Sable (0/2.5)</b>	34 %
<b>Gravier (3/8)</b>	09 %
<b>Gravier (8/15)</b>	57 %

### ➤ Coefficient de compacité $\delta$ :

Il est défini comme le rapport des volumes absolus en litres des matières solides  $V_M$  Au volume total du béton frais soit un mètre cube

$$V_M = V_G + V_C$$

Avec

- $V_G$ : Volume absolu des granulats
- $V_C$ : Volume absolu du ciment

$$\delta = \frac{V_M}{1000}$$

En utilisant le tableau des valeurs du coefficient de compacité [54] et après interpolation pour un diamètre maximum de granulats égal à 16 mm, on trouve :  $\delta=0,81$  d'où  $V_M = 81$

➤ **Dosage des Granulats:**

Les dosages en volume des constituants du béton sont donnés par les relations ci-dessous:

- **Volume absolu de ciment :**

$$VC = mc / \gamma = 400 / 3. = 129.03$$

Avec :

- mc: dosage (en masse) de ciment.
- $\gamma=3,1$  g/ml: masse volumique.

- **Volume absolu des granulats (l'ensemble):**

$$VG = 1000 - VC = 1000 - 129.03 = 870.97 \text{ litre.}$$

- **Volume absolu du sable :**

$$VS = VG * 34/100 = 870.97 * 34/100 = 296.13 \text{ l/m}^3$$

- **Volume absolu du gravier (3/8) :**

$$V_{g(3/8)} = VG * 9/100 = 870.97 * 9/100 = 78.39 \text{ l/m}^3$$

- **Volume du gravier (8/15) :**

$$V_{g(8/15)} = VG * 57/100 = 870.97 * 57/100 = 496.45 \text{ l/m}^3$$

Les dosages en masse des éléments secs (granulats, sable) pour 1 m<sup>3</sup> de béton sont:

- **Masse du sable:**  $MS = VS * \gamma_s = 604.3 \text{ kg}$
- **Masse du gravier (3/8):**  $M_{g(3/8)} = V_{g(3/8)} * \gamma_{g(3/8)} = 166.74 \text{ Kg}$
- **Masse du gravier (8/16) :**  $M_{g(8/16)} = V_{g(8/16)} * \gamma_{g(8/16)} = 1055.77 \text{ Kg}$

Pour préparer 1 m<sup>3</sup> de béton, il faudra donc les masses suivantes (Tableau III.7)

**Tableau III.7:** Composition finale pour 1m<sup>3</sup> de béton.

Constituants	Volume (Kg(l)/m <sup>3</sup> )
Sable	604.3
Gravier 3/8	166.74
Gravier 8/15	1055.77
Eau	193.33
Ciment	400
E/C	0.483
Adjuvant	4

#### III.4. Présentation d'éprouvettes utilisées

Dans ce programme expérimental, deux types de moules ont été utilisés :

- Les éprouvettes de forme cylindriques normalisées et d'élanement 2 (10×20cm<sup>3</sup> norme NF P 18-400, NA 2600) utilisées pour la détermination des résistances à la compression.
- Les éprouvettes prismatiques normalisées (NF P 18-400, NA2600) de dimensions 7x7x28 cm<sup>3</sup> pour la détermination des résistances à la flexion 3 points.

Pour éviter l'effritement et faciliter le démoulage des éprouvettes, les moules sont enduits d'une huile à l'aide d'un pinceau.

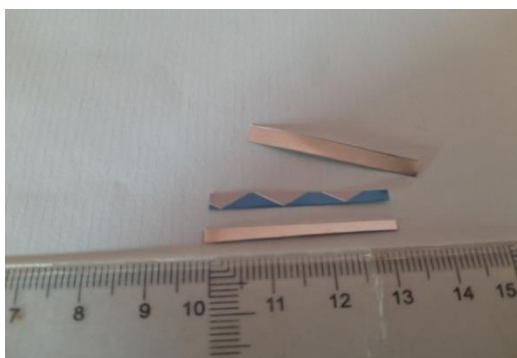
**Figure III.9:** Éprouvettes prismatiques**Figure III.10:** Éprouvettes cylindrique

### III.5 Les fibres

Les fibres utilisées, pour la confection d'un béton à base de fibres, sont des fibres métalliques provenant de la récupération des canettes en aluminium. Ces déchets sont collectés dans la nature, lavées, séchées puis coupées à l'aide d'une cisaille en forme de fibres de géométrie droite et ondulée avec des longueurs de 3 et 5cm.



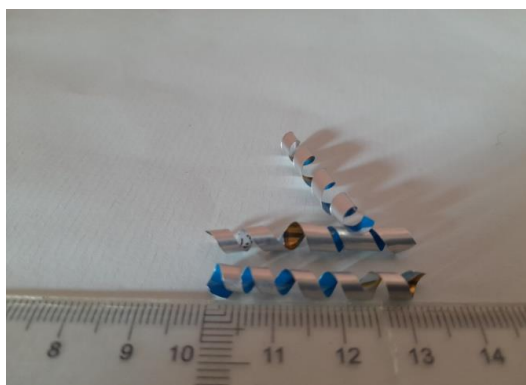
Figure III. 11 : la canette



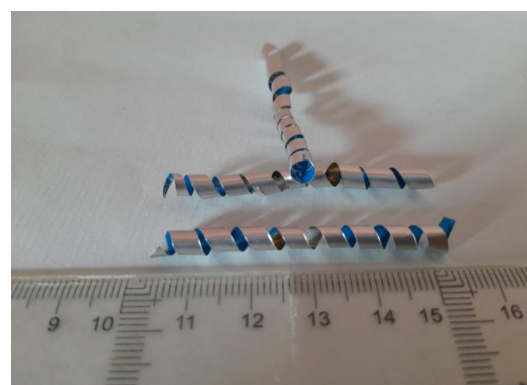
Fibres droites 3 cm



Fibres droites 5 cm



Fibres ondulées 3cm



Fibres ondulées 5 cm

Figure III.12 : variante de fibre

- **Caractéristiques des fibres :**

La valeur de la masse volumique a été déterminée au laboratoire comme suite :

On écrit : 
$$\gamma = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Avec :

- $M$  : masse d'une quantité de fibres(g).
- $V_2$ : volume d'eau après l'ajout de fibre dans le tube ( $\text{cm}^3$ ).
- $V_1$ : volume d'eau initial ( $\text{cm}^3$ ).

$$\gamma = \frac{50}{131 - 100} = 1.61 \text{ g/cm}^3$$

➤ **Dosage des fibres**

✓ éprouvettes cylindriques:

Le volume de l'éprouvette est :

$$V_C = \pi * r^2 * h = 3.14 * 5^2 * 20 = 1570 \text{ cm}^3$$

1<sup>er</sup>variante (1% de fibre)  $\longrightarrow$  25.30 g .

2<sup>eme</sup>variante (0.3% de fibre)  $\longrightarrow$  07.58 g.

✓ éprouvettes prismatiques:

Le volume de l'éprouvette est :

$$V_C = L * l * h = 7 * 7 * 28 = 1372 \text{ cm}^3$$

1<sup>er</sup>variante (1% de fibre)  $\longrightarrow$  22.1 g .

2<sup>eme</sup>variante (0.3% de fibre)  $\longrightarrow$  06.62 g.

**Quantités utilisées pour la réalisation des différentes compositions:**

Pour chaque variante d'étude, il est nécessaire pour en appréciation des résultats, on a:

- 3 éprouvettes cylindriques ( $10 \times 20$ )  $\text{cm}^2$
- 3 éprouvettes prismatiques ( $7 \times 7 \times 28$ )  $\text{cm}^3$

## ✓ Béton témoin:(sans fibres)

Tableau III.8 : Les constituants du béton témoin

Constituants	Quantités [kg]	Quantités + 20% [kg]
Ciment	7.06	8.5
Sable(0/3)	10.67	12.8
Gravier (8/16)	18.64	22.37
Gravier (3/8)	2.94	3.53
Eau	3.41	4.1
Adjuvants	0.07	0.084
Fibres	0	0

## ✓ Béton fibre 0.3%

Tableau III.9:Les constituants de béton fibré a (0.3%).

Constituants	Quantities[kg]	Quantities + 20% [kg]
Ciment	7.06	8.5
Sable(0/3)	10.67	12.8
Gravier (8/16)	18.64	22.37
Gravier (3/8)	2.94	3.53
Eau	3.41	4.1
Adjuvants	0.07	0.084
Fibers	0.0429	0.051

## ✓ Béton de fibres 1%

Tableau III.10:Les constituants de béton (1%).

Constituants	Quantities [kg]	Quantities + 20% [kg]
Ciment	7.06	8.5
Sable(0/3)	10.67	12.8
Gravier (8/16)	18.64	22.37
Gravier (3/8)	2.94	3.53
Eau	3.41	4.1
Adjuvants	0.07	0.084
Fibres	0.143	0.1716

### III.6. Confection du béton

#### III.6.1 Présentation du matériel

- **Le malaxeur**

Le béton a été réalisé dans un malaxeur à axe verticale avec des mouvements planétaires. Un temps minimum est recommandé pour assurer l'homogénéité du mélange.



**Figure III.13:** Malaxeur.

- **La table vibrante**

L'usage d'une table vibrante est indispensable pour éliminer une certaine quantité de bulles d'air contenu dans le béton qui pourraient par leur présence affecté les propriétés mécaniques des bétons réalisés.



**Figure III.14 :** table vibrante.

#### III.6.2. Réalisation de béton témoin

Pour chaque gâchée 03 éprouvettes prismatiques (7x7x28) cm<sup>3</sup> et 03 éprouvettes cylindriques de (10x20) cm<sup>2</sup> sont confectionnées. Le malaxage se fait comme suit:

- Déverser le sable, gravier et ciment dans le malaxeur et mise en marche pendant 1 min environ jusqu'à homogénéisation,
- Introduire l'eau de gâchage et adjuvant et malaxage pendant 2min



**Figure III.15** : le mélange avant et après l'ajout de l'eau

- **Mesure de l'affaissement**

À chaque fois, chaque couche est piquée par 25 coups à l'aide de la tige; le cône est arasé avec une tige; le cône est levé immédiatement, verticalement et doucement en le tournant un peu pour le démouler; l'affaissement du béton frais est mesuré.

L'affaissement mesuré pour le béton vibré était de 6 cm ce qui correspond à un béton plastique d'humidité moyenne de classe d'affaissement S2, placé avec vibration selon la norme [NF-EN 206-1 2004].



**Figure III.16**: Mesure d'affaissement.

- **Remplissage et vibration**

La mise en place du béton dans les moules a été faite en 2 couches, chacune vibrée pendant 20 à 30 secondes sur une table vibrante destinée pour le faire. Après 24h de séchage, le coffrage a été retiré et les éprouvettes ont été mises en mûrissement,



**Figure III.17:** vibration des éprouvettes.

Toutes les éprouvettes ont été plongées dans des bacs d'eau à une température constante de 20° C pendant une durée de 28 jours, selon la norme européenne (NF 2001) pour la confection et la conservation des éprouvettes. Toutes les éprouvettes vont être testées après 28 jours de mûrissement. Les éprouvettes cylindriques sont destinées à déterminer la résistance caractéristique en compression du béton. Les éprouvettes prismatiques sont destinées à déterminer la résistance caractéristique en traction du béton.

### III.6.3. Réalisation de béton de fibres

L'innovation dans les sciences de la construction passe en partie par le développement de nouveaux matériaux et la maîtrise de leurs propriétés. Le béton fibré est l'un de ces matériaux.

L'incorporation des fibres métalliques se fait au malaxage des granulats. Le mélange se fait à l'état semi sec, les fibres sont incorporées en faible quantité progressivement. Le malaxage se fait comme suit :

1. Déverser le sable, gravier et ciment dans le malaxeur et malaxer pendant 1 mn

environ jusqu'à homogénéisation,

2. Introduire de l'eau de gâchage et adjuvant, malaxage pendant 1 min. L'emploi de superplastifiant est en particulier recommandé pour compenser la diminution d'ouvrabilité provoquée par l'incorporation de fibres.

3. Introduire les fibres d'acier en petite quantité de façon aléatoire, bien malaxé jusqu'à homogénéisation.



**Béton de fibres droite 5 cm**



**Béton de fibres droites 3 cm**



**Béton fibres ondulée 5 cm**



**Béton fibres ondulée 3 cm**

**Figure III.18: Malaxage du béton de fibré**

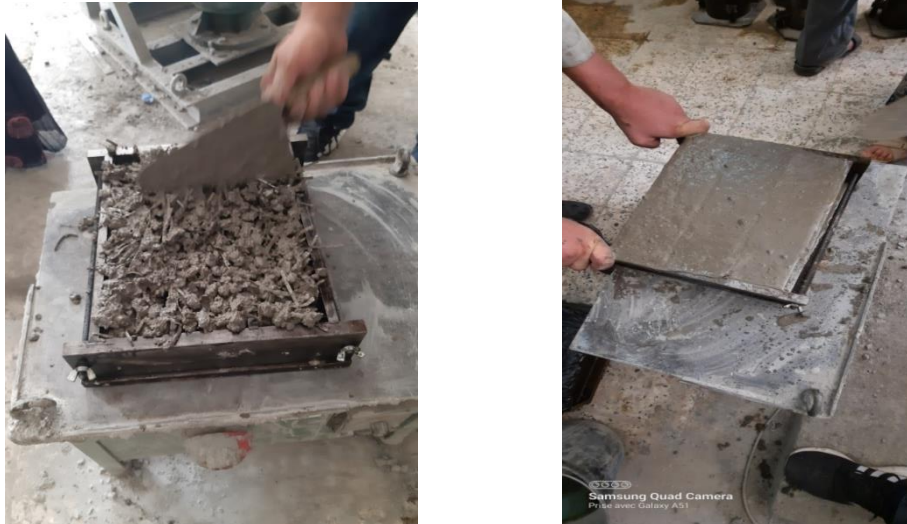


Figure III.19: vibration des éprouvettes.

### III.7. Conservation des éprouvettes

- **Avant démoulage**

Ceci doit se faire dans un moule muni d'un couvercle film de polyéthylène sur la face d'arasement pour éviter toute évaporation. Au vu du nombre important et pour éviter toute autre influence, les éprouvettes sont conservées et entretenues par un même procédé. À cet effet toutes les éprouvettes sont recouvertes d'une toile en plastique.



Figure III.20 : recouvrir les éprouvettes d'une toile en plastique avant démoulage.

- **Le démoulage**

Le démoulage se fait après 24 heures à l'aide de quelques outils de démoulage (clés, marteaux tourne au vice...). Après le démoulage toutes les éprouvettes sont immergées dans un bac à eau pendant 28 jours, comme indiqué précédemment.



Figure III .21: Démoulage de l'éprouvette prismatique



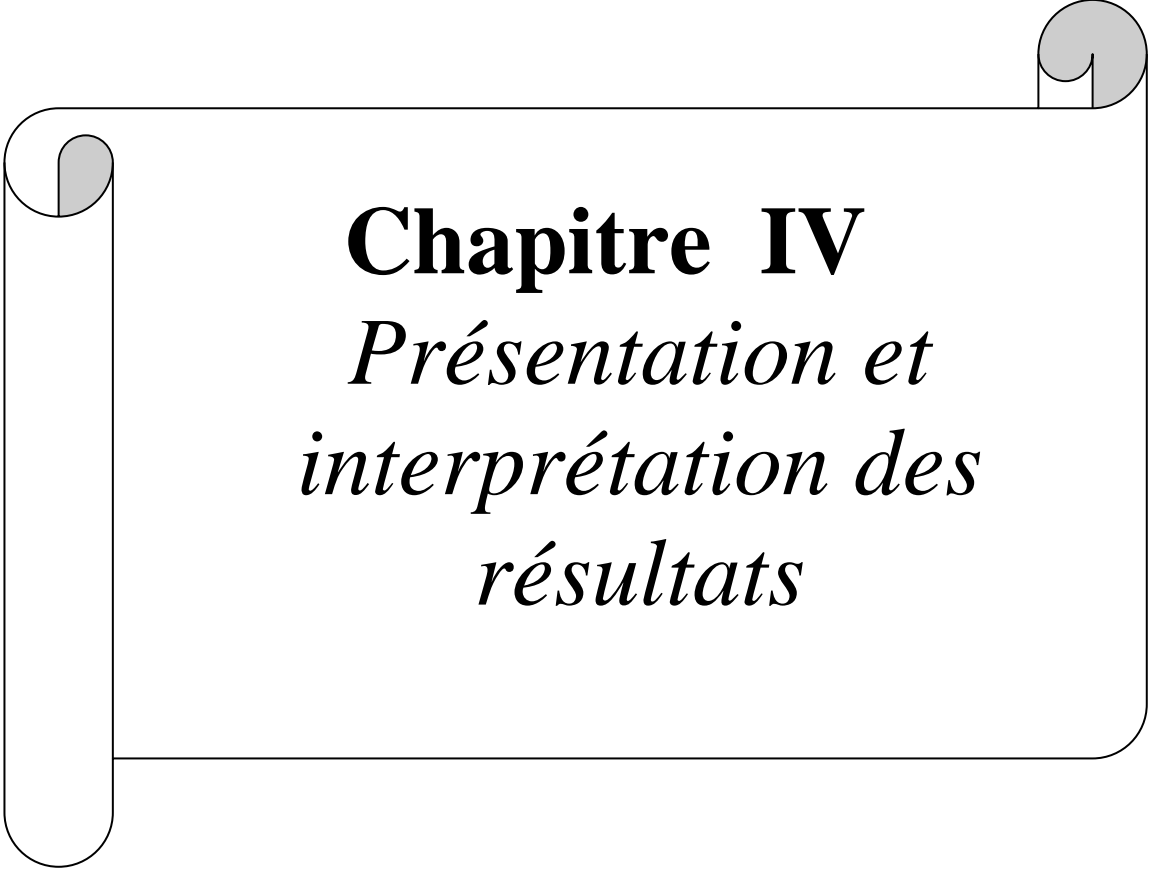
Figure III .22: Démoulage de l'éprouvette cylindrique.



Figure III.23: préservation des éprouvettes dans de l'eau pendant 28 jours.

**Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté la démarche suivie pour la confection des différents spécimens de la provenance des matériaux, à la caractérisation et enfin au coulage et murissement des bétons témoins et bétons de fibres. Les différents résultats des essais mécaniques à la compression et la traction par flexion sur trois points obtenus seront présentés dans le chapitre suivant.



**Chapitre IV**  
*Présentation et  
interprétation des  
résultats*

## Introduction

Ce chapitre sera consacré à la présentation et l'interprétation des résultats expérimentaux relatifs aux bétons témoin et béton de fibres de toutes les variantes (5cm et 3cm de longueur de forme droite ou bien autre forme ondulée avec deux pourcentages différents 0.3% et 1%. Cette démarche est proposée dans le but d'apprécier l'apport de ces fibres, issues de l'industrie de récupération et de définir la meilleure variante du point de vue résistance.

Les résultats obtenus lors des essais de compression (éprouvettes cylindriques) et de traction par flexion trois points (prismes) sont fidèlement reportés sur des tableaux et courbes pour pouvoir faire une interprétation conséquente.

### IV.1. Essais de compression

Dans le programme de compression des cylindres  $\varnothing 100 \times 200$  mm, le chargement axial a été effectué à l'aide d'une presse hydraulique AUTO TEST avec une étendue de capacité 2000 kN. Cette presse comporte 2 plateaux, un taux de chargement quasi-statique est appliqué avec une vitesse de 0,5 kN/s. A mi-hauteur au milieu de deux faces opposées, ont été mesurées, à intervalles rapprochés et les forces et les déformations axiales et radiales. Muni de mors auto-serrant, elle nous permet une bonne tenue des spécimens c'est une manière d'assurer une répartition homogène des contraintes. Les figures ci-dessous illustrent le chargement et acquisition des résultats.



Figure IV.1: presse hydraulique AUTO TEST [4].

### IV.1.1. But de l'essai

L'objectif principal de cet essai est la détermination de la résistance à la compression  $f_c$  (rapport entre la force appliquée / la section de l'éprouvette) du béton. L'évolution de la déformation et de la contrainte ainsi que son module de Young en compression  $E_{b0}$ .

### IV.1.2. Principe de l'essai

Les éprouvettes confectionnées, sont donc ajustées entre les deux plateaux de la presse. Le plateau supérieur étant fixe, le plateau inférieur sur lequel est posée l'éprouvette est mobile. En remontant celui-ci écrase le corps de l'éprouvette contre le plateau supérieur. Des extensomètres, placés sur la face latérale de l'éprouvette permet de mesurer les valeurs de la déformation. L'effort est appliqué progressivement à vitesse de chargement constante (soit 0,5MPa/s). Pour chaque étape de chargement, la valeur de l'effort vertical ainsi que la déformation correspondante sont enregistrées, et ce jusqu'à la rupture totale de l'éprouvette qui se traduit par l'arrêt de la presse.

L'essai de compression est ainsi achevé. La force maximale  $F$  est donnée dès que la rupture est enclenchée. Cette force est enregistrée et la contrainte de rupture en compression est obtenue par la formule suivante :

$$\sigma_c = \frac{4 \times F \text{ max}}{\pi D^2}$$

- $F \text{ max}$  : désigne la force à la rupture en compression
- $D$ : le diamètre de l'éprouvette.



Figure IV.2 : écrasement de l'éprouvette

### IV.1.3. Résistance à la compression du béton témoin (BT).

Les résistances mécaniques de ces éprouvettes ont été obtenues par le calcul de la moyenne des résistances (à 28 jours) des trois éprouvettes cylindriques de même que pour le béton témoin (sans fibres). Les résistances et les déformations sont données dans le tableau (IV.1). L'évolution des contraintes en fonction des déformations est représentée sur la figure (IV.3).

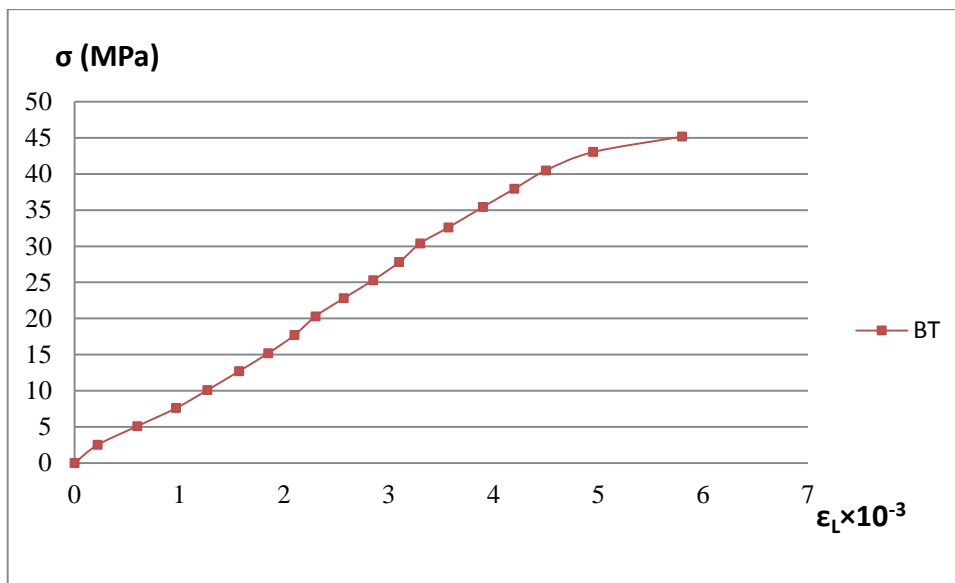
**Tableau IV.1:** Béton témoin sans fibres. (Béton Témoin : BT)

Force (kN)	$\Delta L \times 10^{-3}$ (mm)	$\varepsilon_L \times 10^{-3}$	$\sigma$ (MPa)
0	0	0	0
20	45	0,22	2,5
40	120	0,60	5,1
60	195	0,97	7,6
80	255	1,27	10,1
100	315	1,57	12,7
120	370	1,85	15,2
140	420	2,10	17,7
160	460	2,3	20,3
180	515	2,57	22,8
200	570	2,85	25,3
220	620	3,10	27,8
240	660	3,3	30,4
260	715	3,57	32,61
280	780	3,9	35,44
300	840	4,2	37,97
320	900	4,5	40,50
340	990	4,95	43,03
357	1160	5,8	45,18

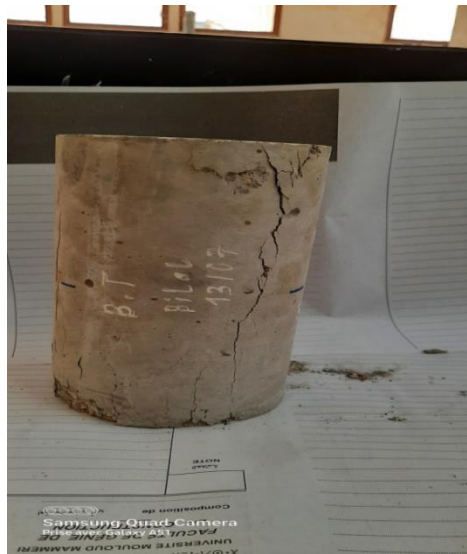
Où:

- $\Delta L$  : déplacement longitudinal en mm,
- $\varepsilon_L$ : déformation longitudinale,  $\varepsilon_L = \Delta L / L$  avec  $L = 200$  mm
- $\sigma$ : = F/S, contrainte en MPa,

- F : force en kN,
- S : section géométrique du cylindre ( $S = \pi D^2 / 4 = 3.14 \times 100^2 / 4 = 7900 \text{ mm}^2$ )



**Figure IV.3:** Courbe contrainte-déformation du béton témoin (BT).



**Figure IV.4:** Rupture d'éprouvette béton témoin sous sollicitation de compression

Le comportement de la courbe contrainte-déformation du béton témoin en compression est caractérisé par les phases suivantes:

- Une première phase de comportement identique à celle d'un matériau homogène et élastique, celle-ci se traduit par une relation linéaire entre la contrainte  $\sigma$  et la déformation  $\epsilon$ . Cette partie linéaire avant fissuration du béton, située entre 0 et environ

90% de la résistance maximale du béton de 0 jusqu'à 40 MPa et donc une déformation entre 0 et environ  $4.3 \times 10^{-3}$ , le matériau dans cette phase étant considéré non endommagé, celui-ci est régi par la loi de Hooke ( $\sigma = E \cdot \varepsilon$ ).

- Une partie légèrement courbée, au-delà de 40 MPa et jusqu'à la rupture (45.18MPa): au cours de cette phase, le béton se fissure au fur et à mesure de l'application du chargement, les microfissures passant de microscopiques à macroscopiques, engendrant ainsi un endommagement de plus en plus important ainsi qu'une perte de rigidité menant à la rupture totale du matériau.

#### IV.1.4. Résistance à la compression du béton de fibre dosé à 1%

De la même manière que pour le béton témoin, les résistances mécaniques et les déformations de ces éprouvettes contenant 1% de fibres ont été obtenues par le calcul de la moyenne des résistances (à 28 jours) des trois éprouvettes cylindriques de béton fibre droite (BFD 3cm et 5cm) et de béton fibre ondulée (BFO 3cm et 5cm). Les résultats sont donnés dans le tableau (IV.2). Ainsi que des courbes contraintes-déformations représentés ci-dessous par les figures IV.5, IV.6 en plus d'un histogramme qui regroupe toutes les variantes.

**Tableau IV.2:** Résistances et forces maximal de béton a 1% de fibres

Variante	Résistance max(MPa)	Force max (kN)
BT	45.18	357
BFD 3cm	23.24	182.6
BFD 5cm	18.40	144.5
BFO 3cm	19.47	152.9
BFO 5cm	33.24	262.2

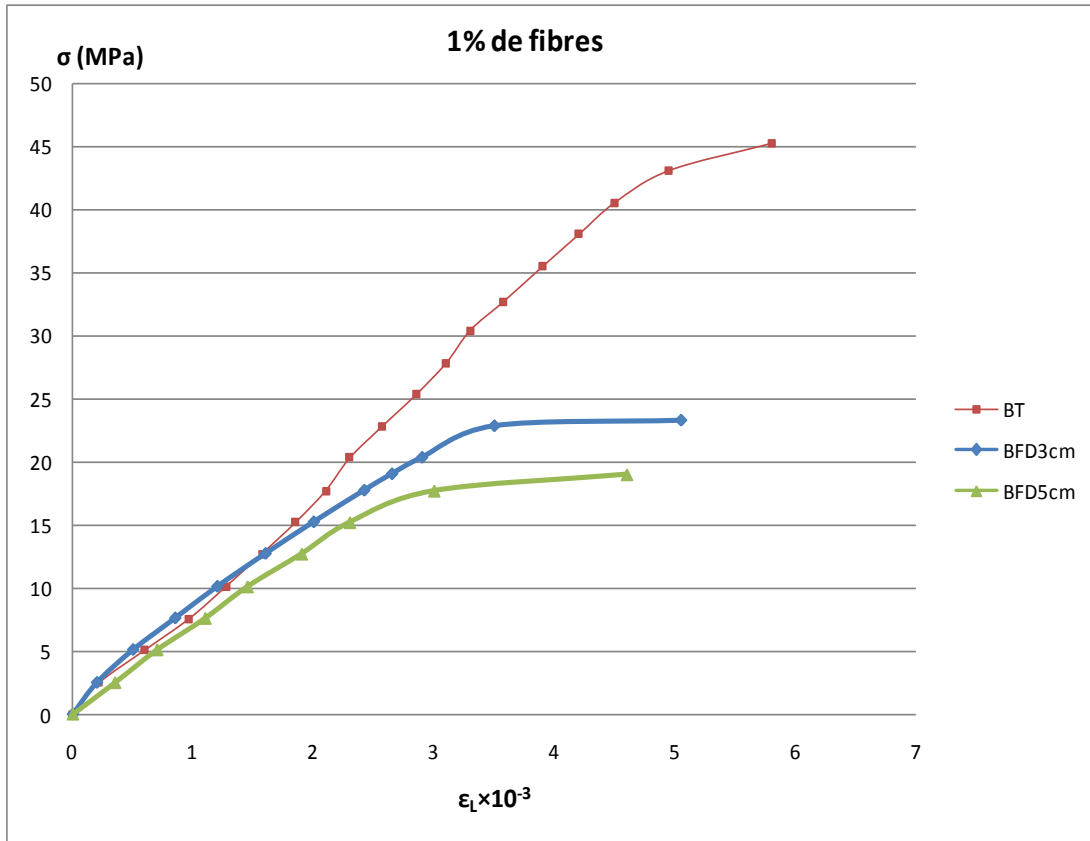


Figure IV.5: Courbe contrainte-déformation du béton Fibre droite (BFD 3 et 5cm).

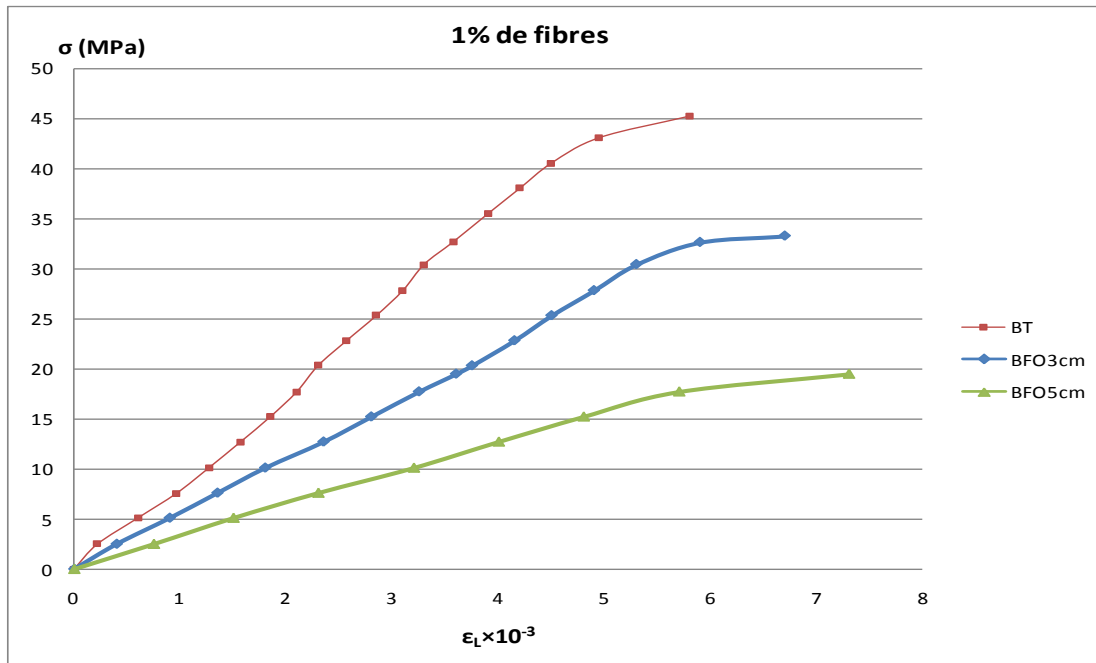


Figure IV.6: Courbe contrainte-déformation du béton Fibre Ondulée (BFO 3 et 5cm).

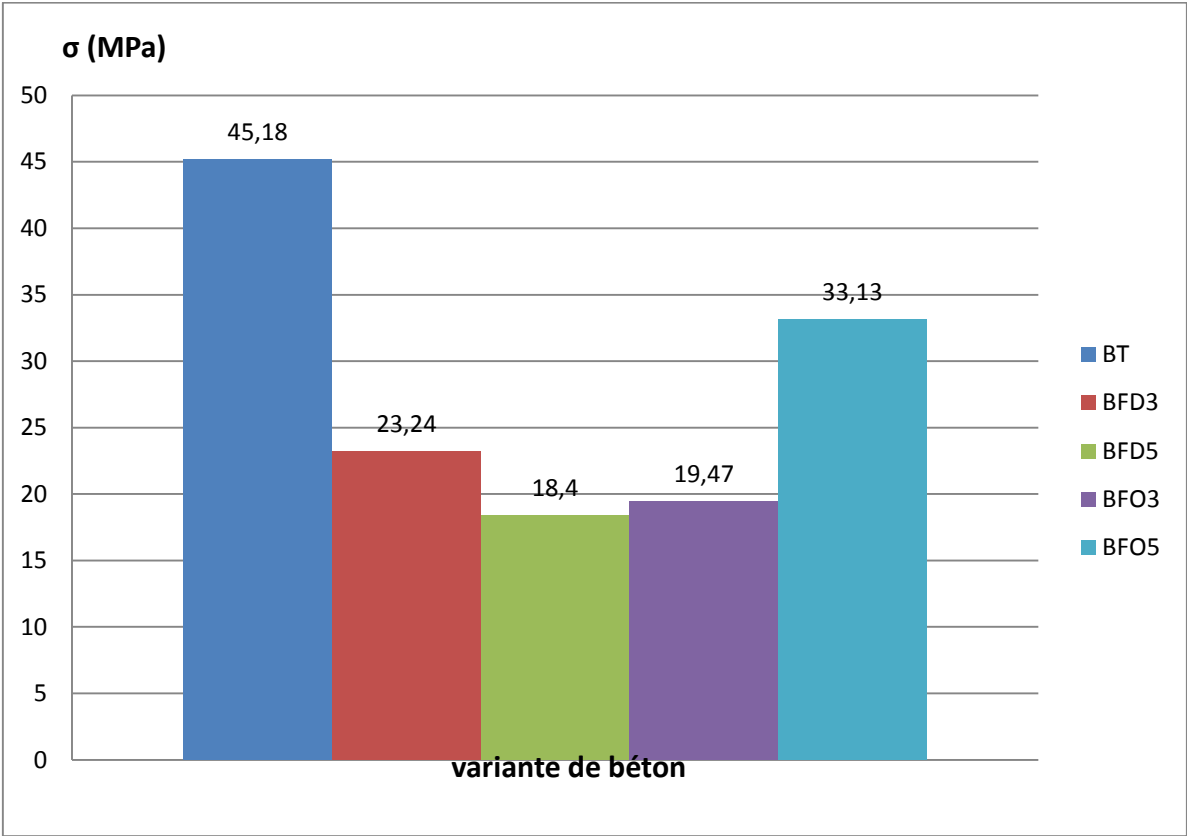


Figure IV.7: Résistances des différentes variantes de bétons avec 1% de fibres.



Figure IV.8: Mode de rupture des éprouvettes sous sollicitation de compression.

### ➤ Interprétation des courbes et discussion

Typiquement, la courbe contrainte-déformation présentent une pente initiale qui suit celle du béton témoin jusqu'à un point d'inflexion, suivie d'une zone de déformation plastique plus importante pour le béton témoin.

Les courbes des bétons fibrés suivent la même allure que celle du béton non renforcé, mais à des résistances moindres. Ce constat nous informe sur le fait que ce dosage reste non significatif vis-à-vis de la résistance visée. Du fait de la légèreté de ce type de fibres dont un volume à introduire dans la matrice devient conséquent, ceci produit une densité des vides plus importante que dans le cas du béton témoin donc une chute de résistance à travers l'existence de ces pores qui fragilisent notre matrice béton.

Un pourcentage moindre est proposé pour la confection d'une autre série d'éprouvettes. De la même manière, ces essais ont été réalisés avec soin en suivant le même Protocole que celui de la confection des bétons de fibres dosés à 1% de fibres de déchets. Les proportions des constituants du béton, l'incorporation des fibres avec un dosage cette fois de 0.3% est réalisé progressivement. Le mûrissement des éprouvettes ainsi que tous les réglages (machine, paramètres et configuration) sont assurés. Les résultats obtenus, sur chaque constituant, ont permis de fournir des informations indispensables à la compréhension du comportement mécanique et des mécanismes de rupture des éléments étudiés.

#### IV.1.5. Résistance à la compression du béton de fibr à 0,3%

Les résultats des essais sont données respectivement dans le tableau (IV. 3) ainsi que des courbes contrainte-déformation représentés ci-dessous par les figures IV.9, IV.10 en plus de l'histogramme qui regroupe toutes les variantes.

**Tableau IV.3:** Résistances et forces maximal de béton a 0.3% de fibres

Variante	Résistance max(MPa)	Force max (kN)
BT	45.18	357
BFD 3cm	41.14	325
BFD 5cm	39.64	313.23
BFO 3cm	45.92	362.8
BFO 5cm	44.24	349.54

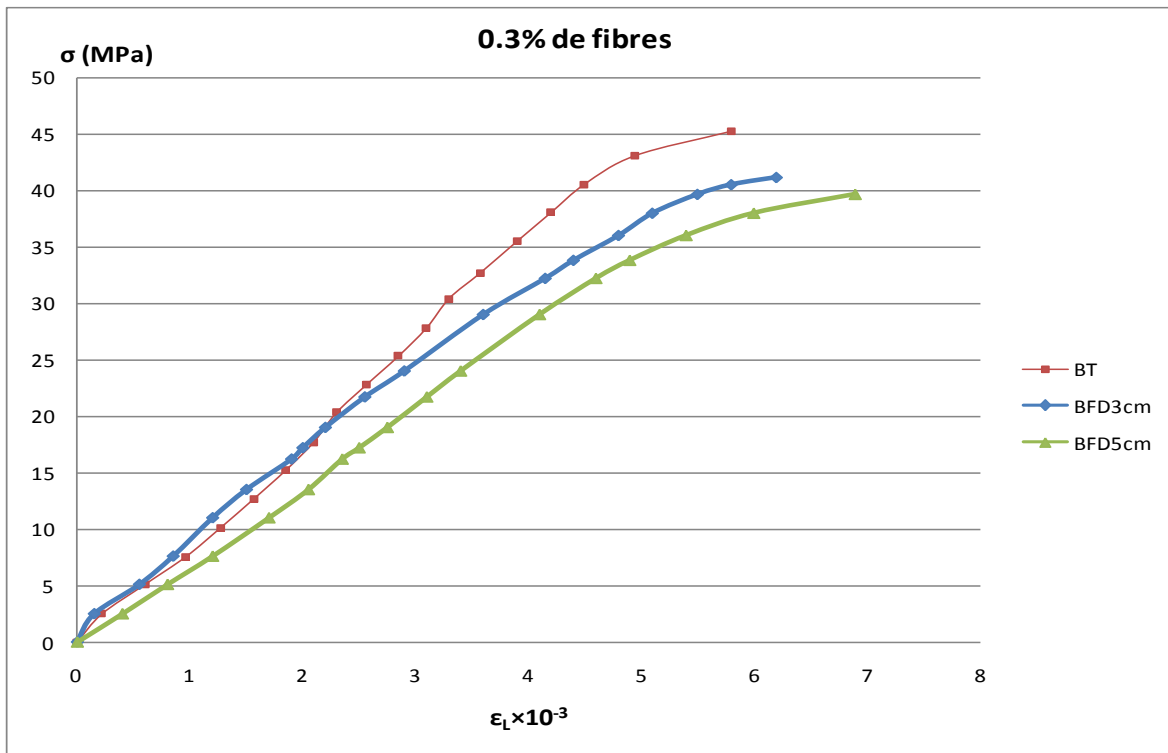


Figure IV.9: Courbe contrainte-déformation du béton Fibre Droite (BFD 3/5cm)

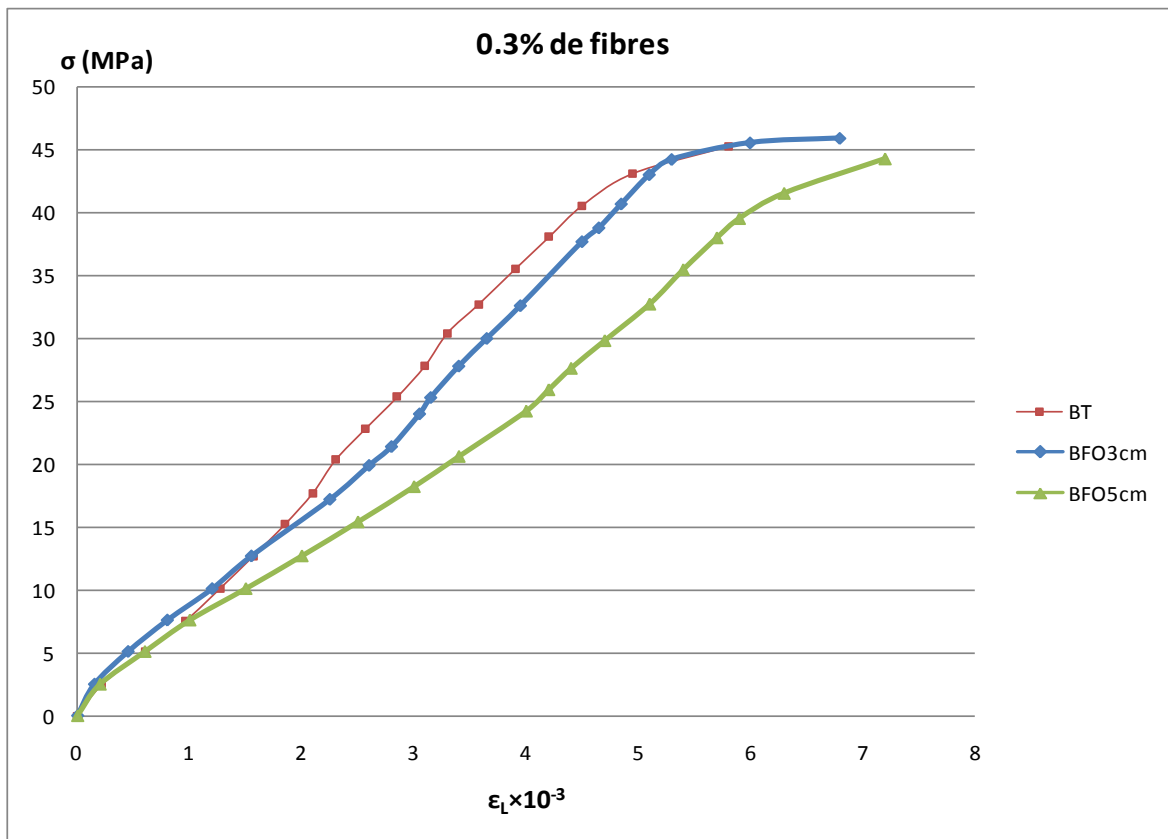
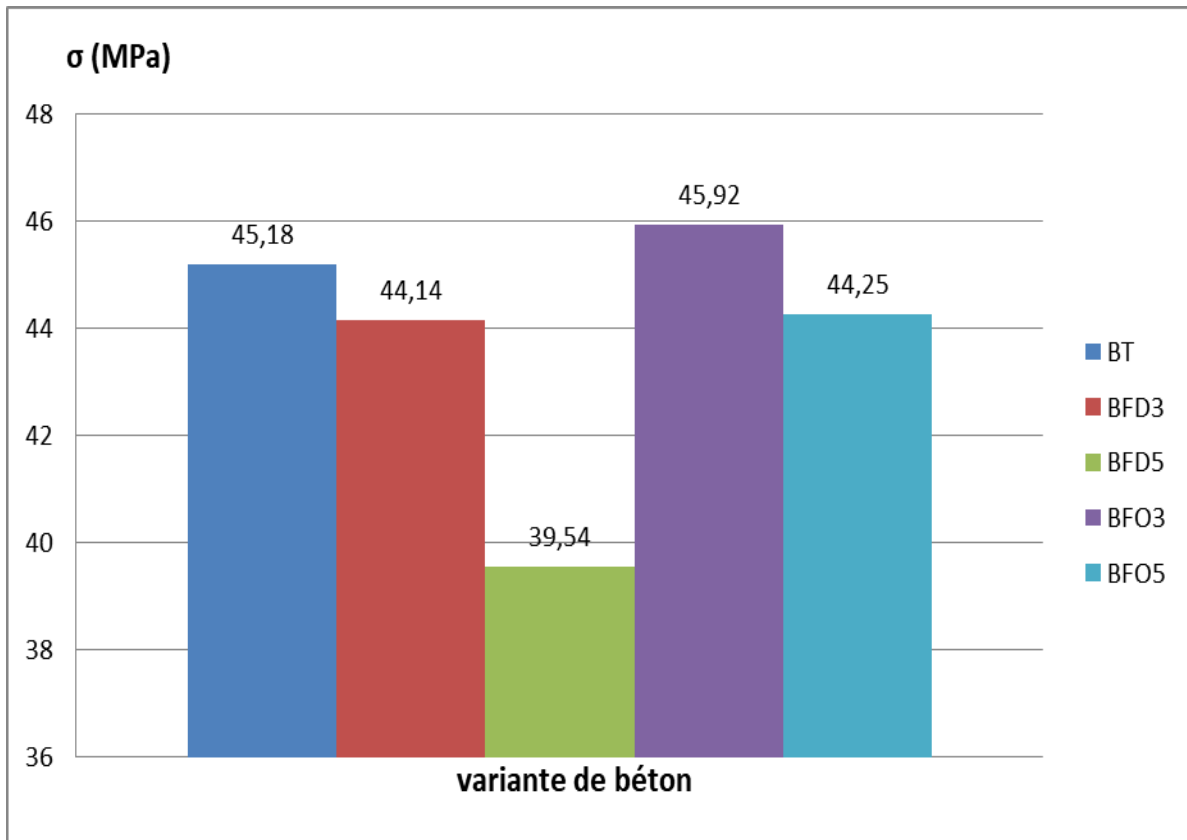


Figure IV.10: Courbe contrainte-déformation du béton Fibre Ondulée (BFO 3/5cm).



**Figure IV.11:** Résistances des différentes variantes de bétons avec 0,3% de fibres



**Figure IV.12:** Rupture des éprouvettes cylindriques sous sollicitation de compression.

### ➤ Interprétation des courbes et discussion

Les courbes obtenues (fig IV.9 – IV.10) présentent toutes une partie droite dans le domaine élastique, puis elles s'éloignent de cette droite. Le comportement devient non linéaire. Cette forme de courbe correspond bien au comportement réel du béton en compression.

On note que la diminution de pourcentage de fibres a apporté une amélioration de la résistance à la compression des bétons utilisés et c'est quel que soit la variante, cette augmentation a rendu leur résistance proche à celle du béton témoin de sorte que nous avons enregistré une résistance supérieure à celle-ci au niveau de béton fibre ondulée 3cm.

Ces résultats confirment notre précédente hypothèse concernant le pourcentage de fibres, nous remarquons également que l'ajout des fibres ondulée a donné un meilleur rendement que les fibres droites cela peut s'expliquer par la forme ondulée des fibres qui assure une bonne adhérence tout comme celle de 3cm a donné une plus grand résistance que celle de 5 cm.

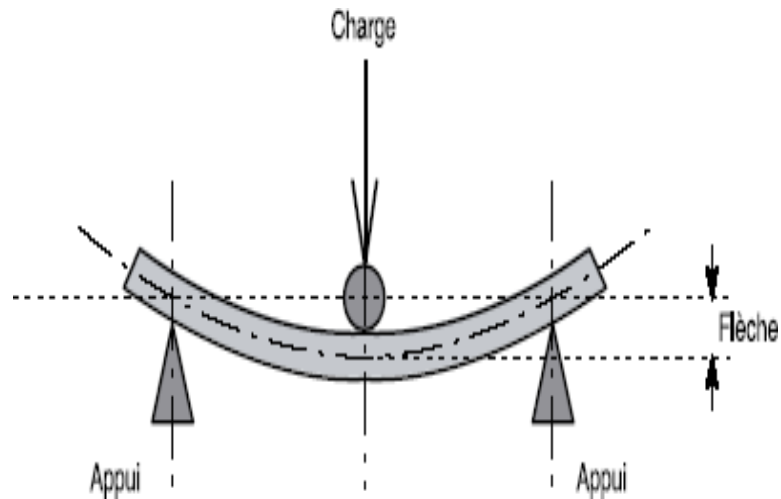
## IV.2. Essai de traction par flexion trois points

La résistance à la traction est le premier objectif recherché par l'incorporation de fibres dans les bétons à différentes variante. L'essai de traction par flexion trois points consiste à soumettre une éprouvette caler entre deux mors de la presse hydraulique de géométrie standardisée prismatique de dimension  $(7 \times 7 \times 28) \text{ cm}^3$  à un moment de flexion par application d'une charge au moyen d'un rouleau supérieur et de deux rouleaux inférieurs (figure IV.13). Les éprouvettes sont placées soigneusement sur les deux rouleaux d'appui inférieurs distancés de  $l$  ( $l = 22 \text{ cm}$ ) de façon à laisser 3cm à chaque extrémité l'éprouvette et bien centrées de telle sorte que l'axe longitudinal des rouleaux (supérieurs et inférieurs) soit orthogonal à l'axe de l'éprouvette. Conformément à la norme NF EN 12390-525 [Afnor, 2001], le plateau supérieur est mobile et se déplace grâce à un système de pignons dentés actionnés par une chaîne; le plateau inférieur reste fixe.



**Figure IV.13 :** la presse hydraulique

L'effort vertical de traction est appliqué progressivement à vitesse de chargement constante jusqu'à la rupture. . La charge maximale est enregistrée au cours de l'essai ainsi que la courbe contrainte- déplacement



**Figure IV.14 :** Détermination du déplacement en flexion

Le logiciel Wintest 32 programmé pour cette presse enregistre, pour chaque étape de chargement, la valeur de l'effort vertical ainsi que la déformation correspondante qui sont présentées directement sous forme de graphes contrainte-déformation et force-déformation

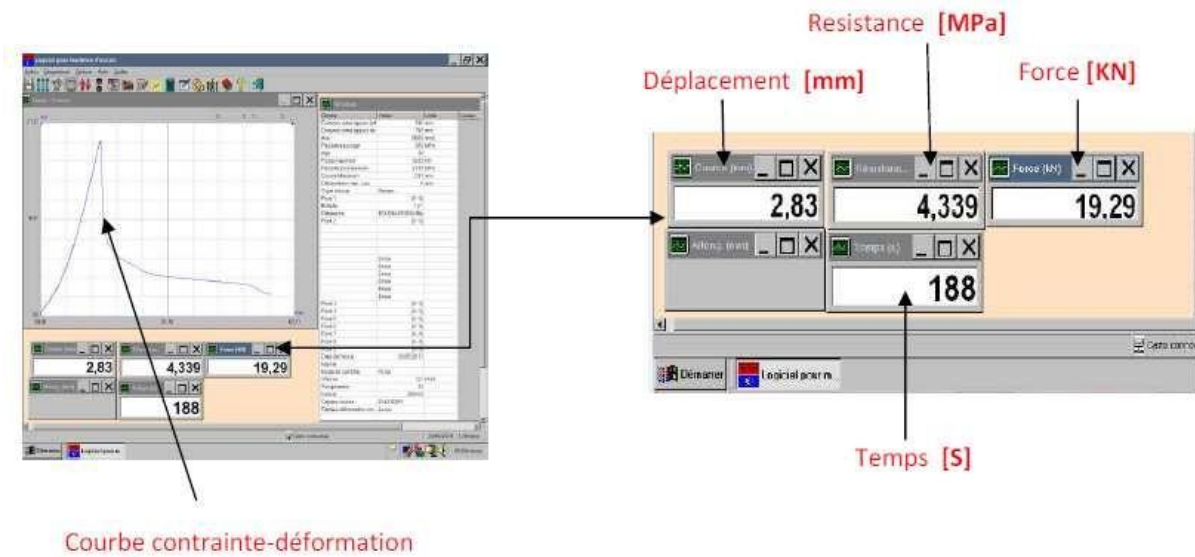


Figure IV.15: Résultats de l'essai de traction par flexion trois points.

### IV.2 .1. Résistance à la traction du béton témoin (BT)

Le résultat de l'essai sur l'éprouvette en béton témoin (BT) est représenté par la courbes force-déplacement de la figure (IV.16).

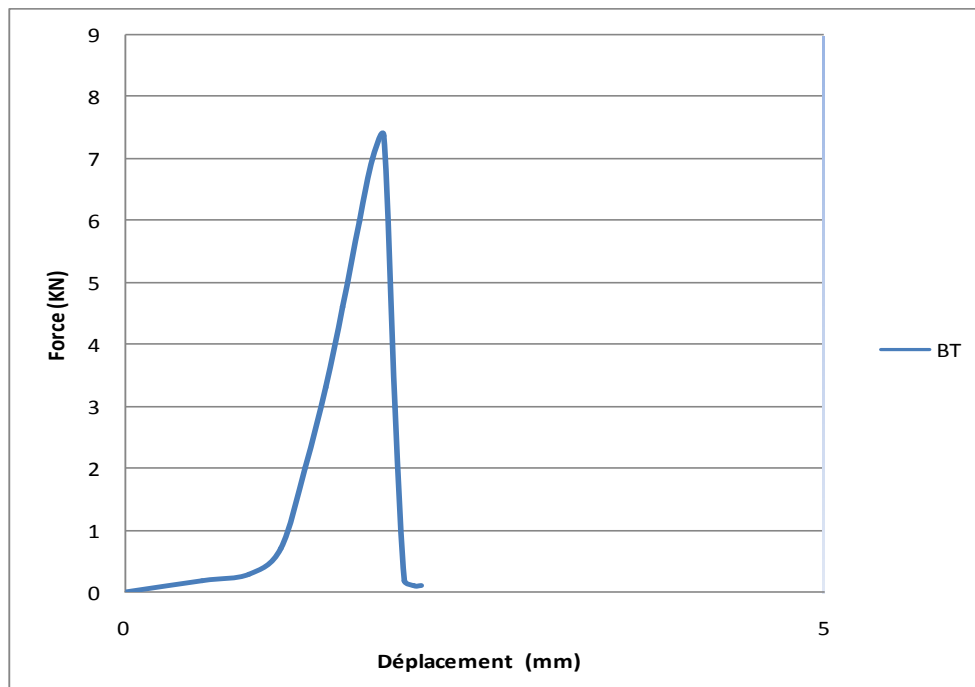


Figure IV.16: Courbes Force-déplacement du béton témoin (BT)

### ➤ Interprétation

La courbe force-déplacement du béton témoin est caractérisée par deux phases distinctes : une première phase ascendante pratiquement linéaire, qui évolue jusqu'à atteindre une course d'environ 2.54 mm, équivalent à une force ultime de 7.37 kN. Une seconde phase se caractérisant par une chute brutale de la résistance qui correspond à l'apparition des premières fissures (rupture fragile).

#### IV.2.2. Résistance à la traction du béton à 1% de fibres

Les résultats des essais sur éprouvettes en béton de fibres de différentes variantes sont représentés par les courbes force-déplacement de la figure (IV.17).

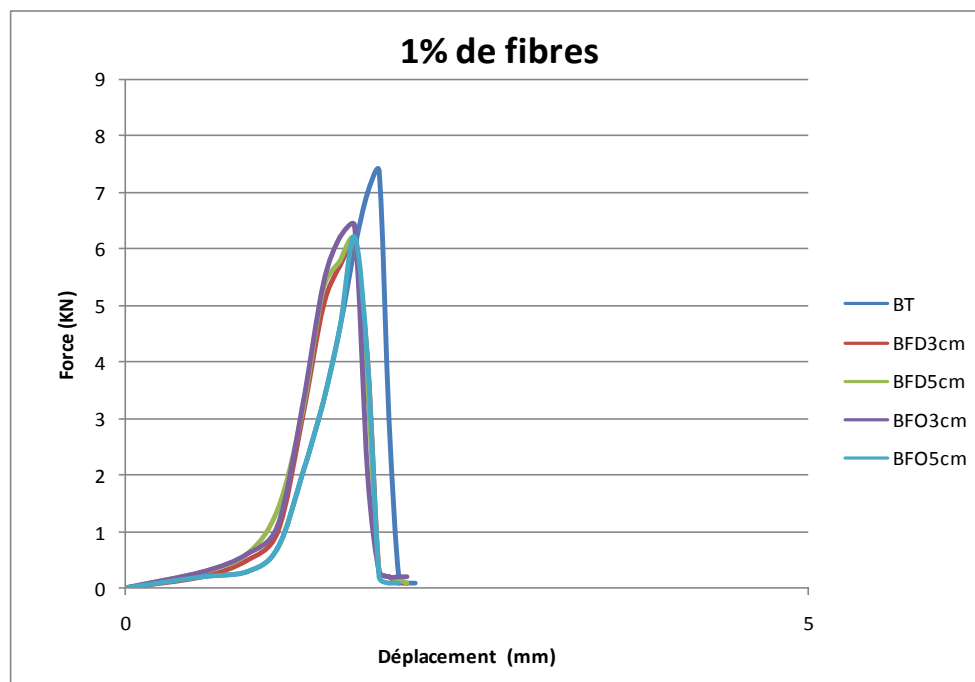


Figure IV.17: Courbes Force-déplacement du béton à 1% de fibres.

### ➤ Interprétation

L'allure des courbes forces-déformations du béton de fibres (1% de fibres) et celle du béton témoin n'engagent pas de disparité avec celle du béton témoin. Le béton témoin affiche une valeur de l'effort au pic, alors que les bétons de fibres affichent des valeurs variées entre 6.009 et 6.41 kN et donc inférieures d'environ 15% à celle de béton témoin.

### IV.2.3. Résistance à la traction du béton à 0.3% de fibres

Les résultats des essais sur éprouvettes en béton de fibres de différentes variantes sont représentés par les courbes force-déplacement de la figure (IV.18).

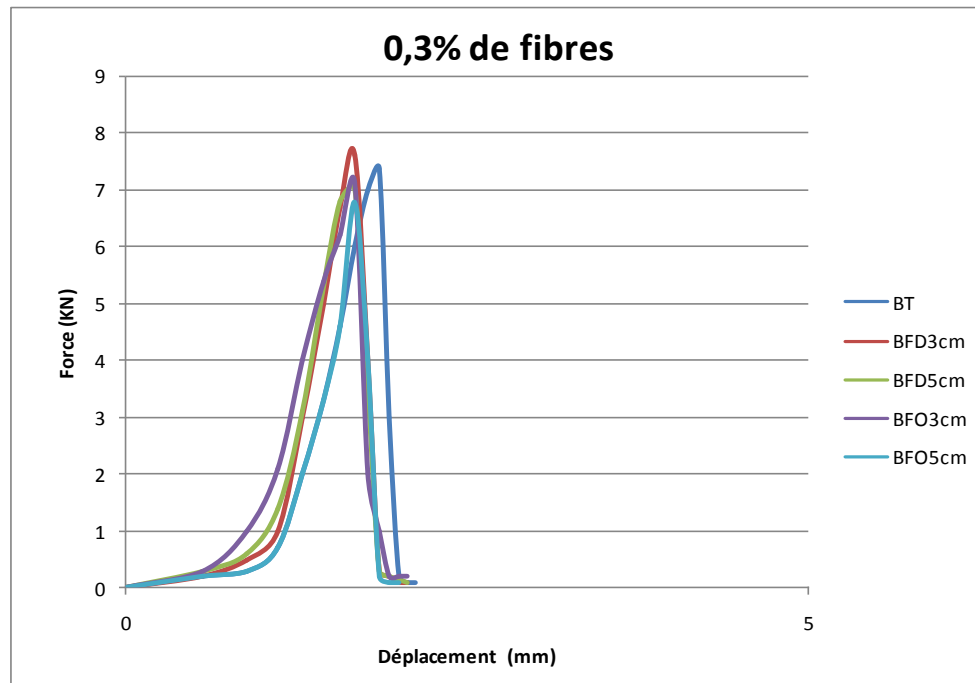


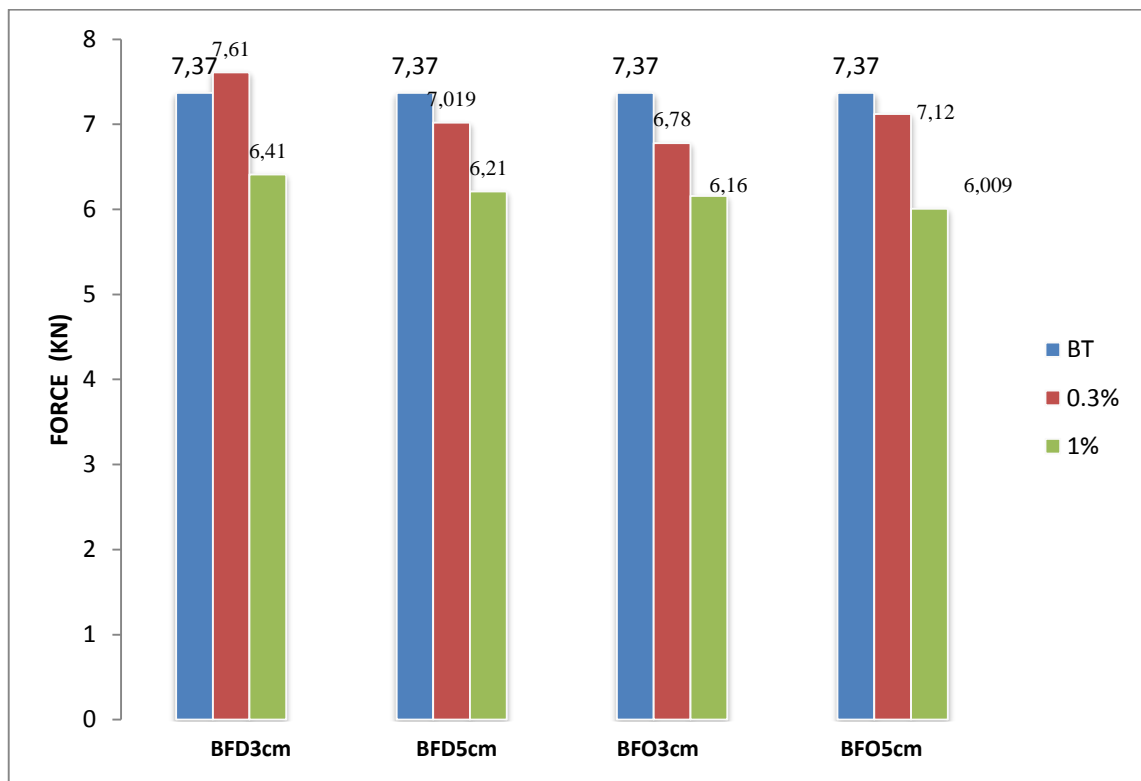
Figure IV.18: Courbes Force-déplacement du béton à 0.3 % de fibres.

#### ➤ Interprétation

L'allure des courbes force-déformation du béton de fibres (0.3% de fibres) ne diffère pas significativement en termes de forme de celle du béton témoin et, concernant la valeur au pic d'effort, nous avons enregistré des valeurs très proches de la force maximale de béton témoin et nous avons également une valeur supérieure à celle-ci qui est de l'ordre de 7.61 KN correspondant au béton fibre droite 3 cm.

### IV.2.4 Comparaison entre les différents pourcentages

Les différentes valeurs des forces maximales appliquées aux différents pourcentages de fibres avec les différentes variantes de fibres sont représentées par l'historgramme ci-dessous.



**Figure. IV.19:** Comparaison entre les forces maximales des différents pourcentages

#### ➤ Interprétation

Les bétons à 1% de fibres ont des résistances la traction par flexion inférieure à celle qui continue 0.3% de fibres et de béton témoin (0% de fibres) par contre l'ajout de 0.3% de fibres a donné des meilleures résistances qui sont très proche de celle de béton témoin et dans un cas supérieur à celle-ci, on note également la convergence des valeurs de la résistance entre les différentes variantes.

### Mode de ruptures des éprouvettes prismatiques

Sur la figure (IV.20) on voit le mode de rupture des éprouvettes prismatiques



**Figure IV.20 :** Éprouvettes prismatiques après écrasement.

### Conclusion

Les résultats des essais de la résistance des bétons avec des fibres métalliques montrent que l'utilisation de 1% de ce type de fibres, réduit fortement la résistance à la compression et diminue également la résistance à la traction alors que le pourcentage 0.3% donne de bons résultats a la fois en compression et en traction.

### Conclusion générale

L'objectif de la présente étude était d'approfondir les connaissances sur le comportement de béton renforcé par des fibres, issues des déchets de récupération. Notre attention a été portée sur le comportement mécanique de ces bétons, pour ça l'utilisation de fibres métalliques a été donc envisagée.

Nous avons étudié le comportement de plusieurs variantes du même types de fibres a savoir la longueur (3 et 5 cm) et la forme (droite et ondulée ) ainsi que le pourcentage, en effet des bétons témoins à 0% de fibres et des bétons à 1% et 0.3 % de fibres avec les différentes variantes ont été confectionnés puis conservées dans des conditions bien définies.

Les propriétés mécaniques telles que la résistance en compression, et en traction par flexion, ont été étudiées. Les résultats de l'étude du béton renforcé de fibres, faite au préalable, ainsi que le béton témoin ont montré une dégradation et une baisse de propriétés mécaniques lors de l'ajout de 1% de fibres au béton, par contre la diminution de ce pourcentage jusqu'à 0.3% nous a permis d'avoir des résultats compétitif avec le béton témoin .En effet l'ajout des fibres, en faible pourcentage, préserve la résistance de béton, par contre en augmentant le pourcentage des fibres à un certain seuil, celle-ci tend plutôt à diminuer, ce constat est surtout observée dans les essais à la traction. Cela est probablement dû à la création d'une porosité au sein du matériau qui le fragilise. En ce qui concerne la comparaison entre les autres variantes à savoir les longueurs 3 cm et 5 cm et les formes droites et ondulée, nous avons enregistré des résultats semblable entre les variables mais à l'exception d'une légère augmentation concernant les bétons de fibres ondulées au détriment des fibres droites en termes de la résistance à la compression. La forme ondulée permet de couvrir les fissures entre elles avant même apparition des macros fissures pendant une certaine période. Ce comportement permet de différer un état de détérioration.

Cette étude a montré aussi que les fibres adhèrent bien à la matrice. En effet cela est vérifié par le fait qu'au cours de la rupture de l'éprouvette, les fibres restent accrochées à la matrice jusqu'à leur rupture complète, elles ne s'extirpent pas de la matrice. Ce résultat peut s'avérer très intéressant lors l'écroulement d'une structure armée de ce type de fibres. Les différents éléments de la structure restent liés même après rupture

En dehors de l'étude mécanique, l'utilisation de ces fibres présente un intérêt écologique tandis que la récupération de ces canettes dans la nature puis les utiliser dans la construction réduit considérablement la propagation de ce type de déchets qui ont tendance de

## Conclusion générale

---

nos jours avoir un caractère dominant sur les populations du monde entier. Sachant qu'il y contribue beaucoup à la pollution. Si nous faisons une petite statistique sur la quantité qui peut être collectée, nous constaterons que l'utilisation de 0.3% de ces fibres dans 1 m<sup>3</sup> de béton constituent l'équivalence de 537 canettes de grand volume. Avec l'énorme pénurie d'usines de recyclage des déchets en Algérie ceci est considéré comme une bonne solution à la pollution.

### Perspectives

Karl Jaspers disait : «faire de la philosophie, c'est être en route. Les questions, en philosophie, sont plus essentielles que les réponses, et chaque réponse devient une nouvelle question». Cette étude a mis en évidence l'interaction entre les fibres et la matrice béton. Des observations microscopiques seraient utiles pour mieux étayer nos premières conclusions. De plus, des essais supplémentaires sur le comportement des éléments en béton soumis à une température élevée avec des cycles de chauffage-refroidissement sont nécessaires. Il serait intéressant d'améliorer ce travail par :

- Utilisation d'autres natures de fibres qui seront plus résistantes.
- Étudier la microstructure de ses fibres et bétons fibrés.
- Étudier le comportement mécanique des bétons fibrés soumis à de hautes températures
- Faire une simulation numérique de ces bétons fibrés soumis à des températures élevées

## Références bibliographique

- [1] **G.BERNIER**, Formulation des bétons. Techniques del'ingénieur.C2 210
- [2] **F.GABRYSIK**, **Matériaux** –Les Bétons chapitre 04.
- [3] **Pascal Casanova**. Bétons renforcées de fibres métalliques : Ecole nationale de, Paris, 1995.
- [4] **Mme MAKHLOUFI Née CHERGUI Nadia** : « caractérisation en statique du comporte- ment en traction direct du béton armé de fibres en copeaux » thèse magister, université mouloud MAMRI de Tizi-Ouzou le 30/11/2010.
- [5] **P.K. ou MEHTA** (1986)," Concrete: structure, properties, and materials", Prentice-Haling. , Englewood Cliffs, New Jersey, 1986, 450p
- [6] **E.N. ANTOINE** (1985), "Fiber reinforced for concrete", Concrete International design and Construction, Vol7, N°3, March 1985, pp.21-25.
- [7] **ACI COMMITTEE** (1984), "State of the art report on fiber reinforced concrete", Journal. American .Concrete Institute. March-April 1984 ,pp.140-146.
- [8] **DJBALI Saïd** : « caractérisation des éléments de structures en béton de fibres métalliques » thèse doctorats, université Mouloud MAMRI de Tizi-ouzou , 22 juin 2013
- [9] **MEDDOUR Nesrine**: Le béton de fibres métalliques dans la conception architecturale Dr. DJEBRI Boualem\_2013.
- [10] **H.F. PORTER**, "Preparation of concrete from selection of materials to final disposition".JournalAmericanConcrete.Institute.Vol.6,1910,296p
- [11] **J.P.ROMUALDI et G.BBATSON**(1963), "Mechanic so crack arrest in concrete ".Proceeding ofAmerican.SocietyofCivilEngineers,Vol.89,June1963,pp.147-168.
- [12] **D.R. LANKARD et H.D. SHEETS** (1971) ; " Use of steel wire fibers in refractorycastables".Am.Cer.Soc.,Vol.63,No.7,1971.
- [13] **M .BOUCHARD** isolation laine minérale Montréal Rive-Nord de Montréal Laval / ISOLATION
- [14] **SACLIR**; Prisent compte de l'orientation des fibres dans une poutre continue à matrice de béton, mémoire de magistère, Université Mohamed Boudiaf M'sila, 2004.
- [15] **Ann de Rodegain** digne dingue donc - Canalblog / Les fibres végétales

## Références bibliographique

- [16] **AITAMEUR**, Contribution à l'étude expérimentale des bétons renforcés de fibres d'acier locales. Mémoire de magister, U Tiaret, 1998.
- [17] **LAFARGE**; Le béton et la démarche HQE.
- [18] Gilberto Siqueira, Julien Bras, Alain Dufresne, 2010; Cellulosic Bionano composites: A Review of Preparation, Properties and Applications; *Polymers* 2,728-765
- [19] **Soso Stocks** entreprise appartenant à Groupe Intercom
- [20] **BOUZEROURA.M** .Etude du comportement du béton de fibres ondulées .Proposition d'une relation simplifiée contrainte-déformation, Magistère en génie civil, Université de Tizi-Ouzou, 2003.
- [21] **ASSOCIATION BETON QUEBEC** (janvier 2005)"Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation des fibres dans le béton " Dépôt légal Bibliothèque nationale du Québec ISBN 2-923379-00-4
- [22] **Youcef FRITIH** « Apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'éléments en béton auto plaçant armé. » thèse de doctorat université de Toulouse 2009
- [23] **P.K.MEHTA** (1986)," Concrete: structure, properties, and materials", Prentice-HallInc ,Engle wood Cliffs,NewJersey,1986,450p
- [24] **DGM09/UMBB** 2011 -2012 Mémoire chapitre V le bétons-fibres
- [25] **Fiches techniques** : LAFARGE, Béton provincial, Fibre mix, Fibres SIKA, Steel mix ,Steel construction et des avis technique sur les vibres métallique.
- [26] Illustration de l'apport du renfort par des fibres [Cotterell 1996].
- [27] **A. BOUHERAOUA**, Effets des fibres bi-ondulées sur le comportement du béton, étude expérimentale, Thèse de magister 2006, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [28] **P. ROSSI** (1991), "Formulation et comportement mécaniques des béton armé de fibres métalliques". Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, n°492-Mars-Avril1991,série Béton279.
- [29] **P. ROSSI, N. HARROUCHE, F. LEMOU** (1989), "Comportement mécaniques des béton armé de fibres métalliques utilisés dans les structures en béton armé et précontraint», Annales de L'ITBTP, N°479, 1989.

## Références bibliographique

[30] **A. ADJRAD** (2000); "Renforcement du béton par des copeaux métalliques, étude expérimentale et modélisation " Thèse de magister 2000. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[31] **GEORGES DREUX, JEAN FESTA**, Nouveau guide du béton et de ses constituants, Eyrolles, 8ème édition, Paris (mai 2002)

[32] <https://decorexpro.com>

[33] <https://linteraute.fr>

[34] <https://maconnerie.bilp.fr>

[35] <https://doc.lerm.fr>

## Résumé

Ces dernières années notre environnement connaît une forte abondance de déchets dans la nature. Ces déchets, de tout genre, créent des problèmes environnementaux de plus en plus incontrôlables. En effet ils sont très souvent à caractère dangereux, se décomposent difficilement, posent un problème d'insalubrité et une pollution visuelle.

Le recyclage des déchets représente une issue prometteuse, elle permet d'éliminer, de réduire leurs impacts sur la santé humaine et l'environnement (pollution de l'air, changement climatique, contamination du sol et de l'eau...). La mauvaise gestion des déchets contribue au changement climatique et à la pollution atmosphérique, elle affecte directement de nombreux écosystèmes et de nombreuses espèces.

C'est un défi de taille que de recycler les déchets, c'est dans cette optique que s'inscrit notre contribution expérimentale. En effet au vu de l'abondance des canettes de boissons dans la nature, nous proposons de les réintroduire comme fibres dans le béton de construction.

L'objectif de cette recherche est une contribution à la valorisation des déchets. L'influence de ces fibres métalliques d'origine déchets de canettes sur le comportement mécanique du béton (résistance à la compression et à la traction) sera traitée.

Plusieurs séries d'éprouvettes en béton, renforcées par ces fibres ont été réalisées. Des essais de traction et de compression ont été effectués pour en évaluer l'apport du point de vue résistance dans le béton. Plusieurs variantes d'étude ont été traités telles que le pourcentage, la taille et la forme des ces fibres pour en évaluer la meilleure proposition du point de vue résistance.

**Mots clés:** Déchets de canettes, bétons de recyclage, essais mécaniques, analyses

## Abstract :

In recent years our environment has experienced a high abundance of waste in nature. This waste, of all kinds, creates increasingly uncontrollable environmental problems. Indeed they are very often of a dangerous nature, decompose with difficulty, pose a problem of insalubrity and visual pollution.

Recycling waste represents a promising solution, it makes it possible to eliminate and reduce their impact on human health and the environment (air pollution, climate change, soil and water contamination, etc.). Poor waste management contributes to climate change and air pollution, directly affecting many ecosystems and many species.

It is a major challenge to recycle waste, it is in this perspective that our experimental contribution falls. Indeed, given the abundance of beverage cans in nature, we propose to reintroduce them as fibers in construction concrete.

The objective of this research is a contribution to the recovery of waste. The influence of these metal fibers of can waste origin on the mechanical behavior of concrete (compressive and tensile strength) will be discussed.

Several series of concrete specimens reinforced with these fibers were produced. Traction and compression tests were carried out to evaluate the contribution from the point of view of resistance in the concrete. Several study variants have been treated such as the percentage, size and shape of these fibers to evaluate the best resistance point proposal.

**Keywords:** Waste cans, recycling concretes, mechanical tests, analyses.