

Faculté : Sciences de l'ingénierat

Département : Génie Civil

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux de Génie Civil

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

**Thème:**

**Influence de la géométrie des fibres métalliques sur le comportement mécanique des bétons à hautes performances**

Présenté par : Chenafi Hadia & Bourokba Asma

Encadrant : *ACHOURA Djamel.* Université Badji Mokhtar - ANNABA

**Jury de Soutenance :**

Nom et prénom	Grade	Université	Président
ARABI Nourredine	Professeur	Badji Mokhtar Annaba	Président
ACHOURA Djamel	Professeur	Badji Mokhtar Annaba	Encadrant
MÉLAÏS Fatma Zohra	M.C.B	Badji Mokhtar Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2020/2021

## Remerciements

- Avant tout, nous remercions ALLAH ; qui nous a donné la force et sans lui ce travail n'aurait pas existé.
- Nous tenons à remercier, notre encadreur Mr. le professeur Achoura Djamel, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils.
- Nous tenons à exprimer notre gratitude aux membres du jury. Tout d'abord, au Pr. Arabi Nourredine pour avoir accepté de présider notre jury de soutenance, nos remerciements s'adressent également aux Dr. Mélaïs Fatma Zohra d'avoir acceptés de d'examiner ce mémoire. Nos respectueux remerciements à tous nos profs de département de génie civil
- Nos remerciements à nos parents, nos frères et nos amies qui nous ont donné le courage pour terminer ce travail.

## **Résumé :**

Ce travail présente une étude de l'influence l'incorporation de fibres métalliques sur le comportement mécaniques des bétons à hautes performances. L'étude s'appuie sur des essais de compression, traction par flexion a trois points et l'évaluation de la déformation à partir des courbes charge – déplacement et charge- ouverture de fissure. Ces essais font partie d'un programme expérimental ayant pour but d'étudier l'effet de la géométrie des fibres métalliques sur le comportement mécaniques des bétons à haute performances. Deux de type de fibres de géométrie différente sont utilisés. Les résultats obtenus confirment d'une part que l'incorporation des fibres d'acier réduit la fragilité du béton et améliore sa ductilité quel que soit la forme des fibres et montre d'autre part que les caractéristiques géométriques (forme et élancement L/D) jouent un rôle essentiel dans l'amélioration du comportement mécanique des bétons fibrés.

Mots clés : béton fibré- fibres métalliques- géométrie des fibres - traction par flexion- ouverture de fissure.

## **ABSTRACT**

This work presents a study of influence metal fibers incorporation on the behavior mechanical of high performance concrete. The study is based on compression tests, three-point flexural tension and the evaluation of the deformation from the load-displacement and load-crack opening curves. These tests are part of an experimental program aimed at studying the effect of metal fibers geometry on the mechanical behavior of high performance concrete. Two types of fibers with different geometry are used. The results obtained confirm on the one hand that the incorporation of steel fibers reduces the fragility of the concrete and improves its ductility whatever the shape of the fibers and on the other hand shows that the shape plays an essential role in the improvement of the mechanical behavior of fiber-reinforced concrete.

Key words: fiber-reinforced concrete - metal fibers - geometry of fibers - flexural tension - crack opening.

## ملخص

يقدم هذا العمل دراسة لتأثير دمج الألياف المعدنية على السلوك الميكانيكي للخرسانة عالية الأداء. تعتمد الدراسة على اختبارات الانضغاط وشد الانحناء ثلاثي النقاط وتقييم التشوه من منحنيات فتح الحمل والإزاحة والشق. هذه الاختبارات هي جزء من برنامج تجريبي يهدف إلى دراسة تأثير هندسة الألياف المعدنية على السلوك الميكانيكي للخرسانة عالية الأداء. يتم استخدام نوعين من الألياف ذات الأشكال الهندسية المختلفة. تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها من ناحية أن دمج الألياف الفولاذية يقلل من هشاشة الخرسانة ويحسن ليونة مهما كان شكل الألياف ومن ناحية أخرى توضح أن الشكل يلعب دورًا أساسيًا في تحسين الميكانيكية. سلوك الخرسانة المسلحة. الكلمات المفتاحية: الخرسانة المسلحة بالألياف - الألياف المعدنية - هندسة الألياف - شد الانحناء - فتحة الشق.

# Liste des figures

<b>Figure I.1.</b> Fissuration dans le béton sans et avec fibres .....	
<b>Figure I.2.</b> Apport des fibres sur le comportement post fissuration du béton. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure I.3</b> Géométrie des fibres métalliques .....	22
<b>Figure I.4</b> Différents facteurs influençant le comportement mécanique d'un béton renforcé de fibre.	30
<b>Figure II.1.</b> Diagramme de diffraction X du laitier granulé .....	30
<b>Figure II.2.</b> Courbe granulométrique du laitier granulé (L) .....	30
<b>Figure II.3:</b> Echantillon de laitier LHF avant après broyage .....	31
<b>Figure II-4 :</b> Sable de deux types (dune et carrière). .....	32
<b>Figure II-5</b> courbe granulométrique de sable et de gravier .....	36
<b>Figure II.6 :</b> Fibres métalliques de forme crochet. ....	37
<b>Figures II.7</b> fibres métalliques ondulées utilisées.....	38
<b>Figure II-8</b> Mesure de la consistance Affaissement au cône d'Abrams.....	44
<b>Figure II-9</b> Histogramme type de béton affaissement de cône.....	44
<b>Figure II.10</b> histogramme type de béton –masse volumique.....	45
<b>Figure III-1</b> Essai de compression.....	49
<b>Figure III.2</b> Histogramme de résistances en compression des bétons d'étude a 28 jours .....	50
<b>Figure III-3</b> Mode de rupture en compression .....	52
<b>Figure III-4</b> La machine de traction par flexion trois points .....	54
<b>Figure III-5</b> Détermination de déplacement en flexion .....	55
<b>Figure III-6.</b> Essai de traction par flexion de l'éprouvette en béton témoin .....	55
<b>Figure III-7.</b> Mode de fissuration et de rupture de l'éprouvette en béton témoin .....	56
<b>Figure III-8</b> Courbe charge – déplacement de l'éprouvette en béton témoin.....	56
<b>Figure III.9</b> les étapes de processus de fissurations de l'éprouvette en béton des fibres à crochets.....	59
<b>Figure III.10</b> Courbe charge-déplacement de l'éprouvette avec fibres crochets .....	59
<b>Figure III.11</b> Courbe charge - ouverture de fissure de béton avec fibres crochets .....	60
<b>Figure III.12</b> Essai de traction par flexion de l'éprouvette avec fibres ondulée et apparitions .....	61
<b>Figure III.15</b> Courbe charge-déplacement de béton avec fibres ondulées .....	62
<b>Figure III.16</b> Courbe charge-ouverture de fissure de béton avec fibres ondulées .....	62
<b>Figure III.17</b> La première phase de l'éprouvette en béton avec mélanges des deux fibres .....	63
<b>Figure III.18</b> la phase finale de rupture de l'éprouvette en béton avec mélange des deux fibres.....	64
<b>Figure III.19</b> Courbe charge-déplacement de béton avec mélange des deux fibres .....	64
<b>Figure III.20</b> Courbe charge-ouverture de fissure de béton avec mélange des deux fibres .....	65
<b>Figure III.21</b> Histogramme type de béton-résistance a la traction par flexion.....	65

# Liste des Tableaux

Tableau I.1 Principales caractéristiques physiques et mécaniques des fibres les plus utilisées [7] .....	20
Tableau II.1 Composition chimique et caractéristique physiques du ciment utilisé (CPA). .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau II.2 Composition chimique du laitier D’El -Hadjar (Annaba) .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau II.3 Propriétés physiques de LHF après broyage.....	31
Tableau II.4 Temps de broyage et surface Blaine du laitier vitrifié.....	31
Tableau II.5 Composition granulométrique de sable siliceux fin .....	33
Tableau II.6 L’analyse granulométrique de sable de carrière.....	34
Tableau II.7 L’analyse granulométrique du gravillon 3/10.....	35
Tableau II.8 L’analyse granulométrique du gravillon 10/20.....	36
Tableau I.9 Caractéristiques physiques des granulats .....	42
Tableau II.10 Caractéristiques des fibres métalliques de forme ondulées .....	44
Tableau II.11 Les données de base de la formulation DREUX-GORISSE.....	45
Tableau II.12 La composition de béton a haute performance .....	50
Tableau II.13 L’influence de la géométrie des fibres sur la maniabilité .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau II.14 L’influence de la géométrie des fibres sur la masse volumique.....	45
Tableau III.1 Résultats de résistance en compression.....	50

Sommaire	
Remerciements	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	

## Sommaire

<b>Introduction Générale.....</b>	<b>12</b>
<b>Chapitre I.....</b>	<b>14</b>
<b>Etude Bibliographique.....</b>	<b>14</b>
<b>I.1.Introduction .....</b>	<b>15</b>
<b>I.2.Généralités sur les bétons fibrés .....</b>	<b>15</b>
<b>I.2.1.Définition des bétons fibrés .....</b>	<b>15</b>
<b>I.3 Comportement médiocre du béton en traction .....</b>	<b>16</b>
<b>I.4 Mauvaise ductilité des bétons ordinaires .....</b>	<b>17</b>
<b>I.5 LES FIBRES.....</b>	<b>17</b>
<b>I.5.1. Définition des fibres: .....</b>	<b>17</b>
<b>I.5.2 Différents types de fibres .....</b>	<b>17</b>
<b>I.5.2.3 Fibres artificielles :.....</b>	<b>18</b>
<b>I.6 Le rôle des fibres dans le béton .....</b>	<b>19</b>
<b>I.7 Influence de la géométrie des fibres .....</b>	<b>22</b>
<b>I.8 Formulation des bétons fibrés .....</b>	<b>23</b>
<b>I.9 Comportement mécaniques des bétons fibrés avec des fibres métalliques.....</b>	<b>23</b>
<b>Conclusion du chapitre .....</b>	<b>26</b>
<b>Chapitre II .....</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Matériaux, formulation et propriétés à l'état frais .....</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>II.1Introduction .....</b>	<b>27</b>
<b>II.2 Identifications des matériaux.....</b>	<b>28</b>
<b>II.2.1 Ciment.....</b>	<b>28</b>
<b>II.2.2 laitier granulé .....</b>	<b>29</b>
<b>II.2.3 Eau de gâchage .....</b>	<b>31</b>

II.2.4 Les granulats .....	31
II.5 Propriétés physiques des granulats.....	36
II.2.5 FIBRES.....	37
II.3 La formulation des bétons de référence et d'étude par la méthode de Dreux-Gorisse, Sherbrooke et le Méthode de Baron Lesage. ....	38
II.3.1 Méthode de DREUX GORISSE.....	38
II.3.2 La méthode de Sherbrooke .....	39
II.3.3 La méthode de Baron Lesage [Baron 1976].....	41
II.4 CALCULS DE LA COMPOSITION DES BETONS.....	42
II.5 L'influence de la géométrie des fibres sur les propriétés des bétons à l'état frais.....	43
II.5.1 L'influence de la géométrie des fibres sur la maniabilité .....	43
II.5.2 L'influence de la géométrie des fibres sur la masse volumique.....	45
Conclusion du chapitre .....	46
Chapitre III.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Comportement mécaniques des bétons fibrés d'étude.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
III.1 Introduction .....	48
III.2 résistance en compression.....	48
III.2.1 Essai de compression.....	48
III.3 Déformation et Comportement mécanique en traction par flexion.....	53
III.3.1 Introduction .....	53
III.3.2 Test de traction par flexion trois points.....	53
III.3.3 Charges– déplacement et charges - ouverture de fissures .....	54
III.3.4 Résultats de comportement mécanique en flexion des éprouvettes .....	55
III.3.5. Résistance à la traction par flexion.....	65
Conclusion du chapitre .....	66
Conclusion Générale.....	67
Référence bibliographique .....	69

# **Introduction générale**

## Introduction Générale

Malgré tous ses avantages, le béton reste un matériau fragile qui présente une faible résistance à la traction ce qui caractérise sa fragilité et sa faible ductilité. Le renforcement par des fibres métalliques présente un atout majeur d'amélioration de sa ductilité et son comportement vis à vis processus de fissuration.

Le béton à hautes performances est distingué par ses propriétés mécaniques exceptionnelles et sa durabilité. L'augmentation de la résistance à la compression est accompagnée par une fragilité excessive. La fragilité du béton est une conséquence principale de sa nature de se fissurer. La voie la plus évoquée pour remédier à cette faiblesse de comportement en traction consiste à incorporer des fibres métalliques dans la formulation initiale du béton, pour leur conférer une meilleure ductilité.

Les bétons fibrés sont une gamme de béton développée dont le but d'augmenter la ductilité, de limiter la fragilité et d'améliorer le comportement mécanique des bétons. La géométrie des fibres est un paramètre principal d'influence du comportement mécanique. La géométrie des fibres est caractérisée par la forme, la longueur et le diamètre. Cette étude est une contribution pour la compréhension de l'influence de la géométrie des fibres sur le comportement mécanique des bétons fibrés.

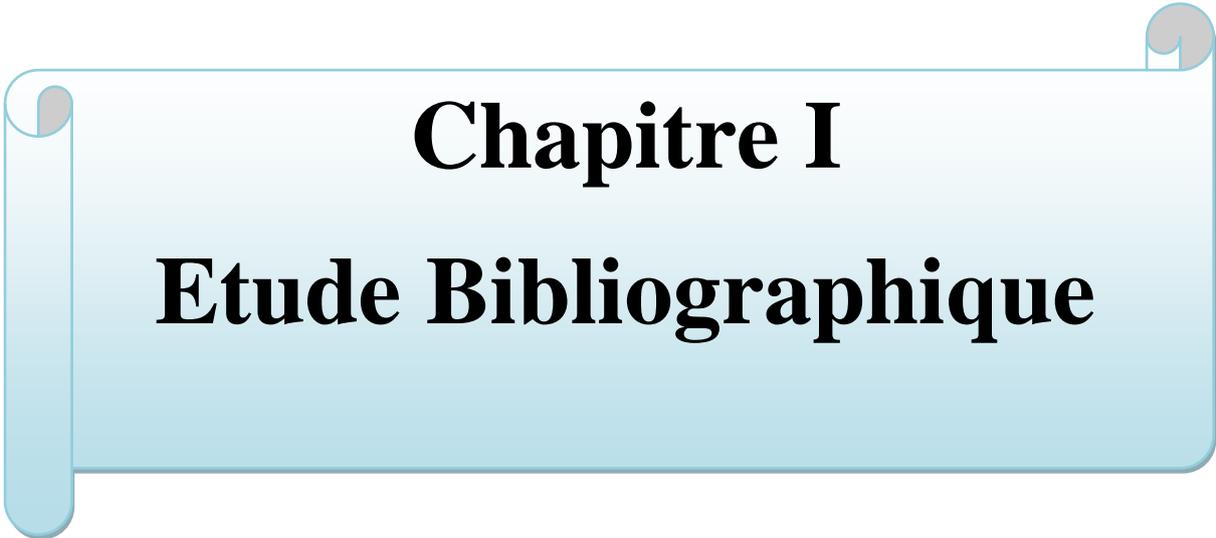
Le renforcement des BHP avec des fibres est un bon moyen pour leur conférer une meilleure ductilité. Les fibres travaillent mieux dans une matrice dense et compacte. On peut incorporer des fibres d'acier dans les BHP chaque fois que la fragilité du béton représente une limitation à son utilisation. Par exemple, des fibres d'acier peuvent être utilisées dans des régions où les risques sismiques sont élevés et dans des éléments où la résistance au cisaillement du béton doit être augmentée.

Certains projets pilotes concernant l'utilisation des BHP renforcés en fibres ont été récemment conduits par plusieurs chercheurs.

Le premier chapitre de cette thèse est dédié à l'étude bibliographique qui concerne la caractérisation des différents constituants entrant dans la formulation des bétons à hautes performances, ainsi leurs mécanismes d'action, nous nous sommes ensuite fait le point sur les travaux réalisés sur les bétons fibrés ou nous avons vu que ces derniers permettaient d'améliorer le comportement mécanique du matériau

Le deuxième chapitre a pour l'objectif d'identifier et de caractériser les constituants entrant dans la composition des bétons fibrés et de définir et de justifier nos choix de base on ce qui concerne les compositions des bétons d'étude. Une optimisation de la formulation des BHP sans et avec fibres a été faite on se basant sur plusieurs méthodes et approche de formulation. Ce chapitre se termine par une présentation des résultats d'essais expérimentaux qui caractérisent l'influence de la géométrie des fibres métalliques sur les propriétés des bétons d'étude à l'état frais.

Le troisième et le dernier chapitre concerne la caractérisation mécanique (résistance mécanique en compression, en traction par flexion, déplacement et ouverture de fissure) des bétons sans et avec fibres de différentes géométries. Le mémoire se termine par une conclusion générale rappelle les principaux résultats obtenus sur l'effet de la géométrie des fibres sur le comportement mécanique des bétons.



# **Chapitre I**

## **Etude Bibliographique**

## **I.1.Introduction**

En 1910, Porter a suggéré pour la première fois l'utilisation de fibres métalliques dans le béton dans l'optique d'améliorer les performances mécaniques du béton. Les fibres sont ajoutées dans la matrice, non pour améliorer la résistance à la traction par flexion du béton, mais surtout dans le but de contrôler la fissuration, d'empêcher que les fissures se connectent et de changer le comportement du béton renforcé de fibres en cousant les fissures. Cependant, le béton renforcé de fibres métalliques (BFM), en tant que matériau dans les applications industrielles, a vu le jour aux Etats-Unis au début des années 60 suite aux travaux de conduisant au dépôt d'un brevet. Il était produit en utilisant du ciment hydraulique classique, des granulats (sable et gravier), de l'eau et des fibres. Afin d'améliorer la maniabilité et la stabilité du béton renforcé. Ce béton n'est pas considéré comme un substitut du béton ordinaire, mais comme un matériau de type différent. [1]

Ce Chapitre présente une synthèse bibliographique des travaux récents sur les bétons fibrés, leurs applications actuelles, les différents types de fibres et leurs rôles dans les matériaux cimentaires. Les fibres dans le béton, apportent plusieurs avantages, notamment sur le comportement mécanique sous sollicitation de traction

## **I.2.Généralités sur les bétons fibrés**

### **I.2.1.Définition des bétons fibrés :**

Un béton fibre est un béton dans lequel sont incorporées des fibres. À la différence des armatures traditionnelles, les fibres sont réparties dans la masse du béton, elles permettent de constituer un matériau qui présente un comportement plus homogène.

Les fibres présentent, selon leur nature, des caractéristiques spécifiques, tant géométriques que mécaniques, et un comportement contrainte-déformation très différent. La capacité de renforcement d'une fibre dépend en particulier de son ancrage, de sa résistance en traction et de son module d'Young.

Les fibres ont pour rôle principal de maîtriser la fissuration et de reprendre les efforts au droit des fissures éventuelles. Elles confèrent au béton des performances et des propriétés liées à leur nature, leurs formes et à leurs caractéristiques mécaniques. [2]

Les fibres, selon leur nature ont un comportement contrainte-déformation très différent. Elles peuvent sous certaines conditions et pour certaines applications ou procédés, remplacer les armatures traditionnelles passives. Les bétons fibrés font l'objet de méthodes spécifiques de dimensionnement pour des applications structurelles (dalles, dallages industriels, voussoirs,

pieux, etc.....). Des méthodes d'optimisation de leur formulation ont été spécialement développées. Les fibres présentent des caractéristiques, tant géométriques, que mécaniques, différentes selon leur nature. Chacune a une influence particulière sur les lois des comportements mécaniques du béton, ce qui se traduit par des applications adaptées et spécifiques. [3]

### **I.3 Fragilité ou Comportement médiocre du béton en traction**

Le béton appartient à la famille des matériaux ayant un caractère fragile. Ceci est traduit par une bonne résistance en compression et une faible résistance en traction. Cette propriété s'observe dans la manière dont la matière se rompt. La rupture est dite fragile lorsqu'elle survient brutalement sans signe précurseur. On dit alors que le matériau est fragile. La fragilité n'est pas corrélée à la valeur de la résistance. Un matériau fragile peut être très résistant ou non. De plus, un matériau peut être fragile en traction mais pas en compression.

Le caractère fragile du béton en compression apparaît par exemple vers les hautes résistances. La propriété contraire est la ductilité. Dans le cas de la ductilité, le matériau se déforme jusqu'à des domaines irréversibles, qu'on dit plastiques, avant de se rompre. Dans le cas de l'acier de construction, la ductilité est liée à l'arrangement des atomes et à la possibilité de propagation de défauts. La microstructure cristalline de l'acier, la présence de dislocations (défauts) et la mobilité de ces dislocations sont à l'origine de la ductilité. D'autres mécanismes expliquent la ductilité pour d'autres matériaux. Pour les polymères, c'est plutôt l'enchevêtrement des longues chaînes moléculaires qui permettent de grands allongements plastiques. Le bois est quant à lui ductile en compression à cause du mécanisme de flambement successif des fibres.

Pour expliquer la différence importante entre les résistances en traction et en compression du béton, il faut faire intervenir la présence de défauts et la propagation de ces défauts (ténacité). Pour le béton, ces défauts sont nombreux à l'échelle de la microstructure. Il s'agit des microfissures, des bulles d'air ou des interfaces entre la matrice cimentaire et les granulats. Les défauts initiaux vont évoluer ou non selon le sens de la sollicitation et son amplitude.

En traction, les défauts orientés perpendiculairement au sens de sollicitations, assimilés à des microfissures, vont évoluer dès que les contraintes ont atteint la ténacité du matériau. Comme plus haut dans le cas du verre, ce sont les microfissures perpendiculaires aux contraintes de traction qui vont se propager. La rupture par traction d'un échantillon de béton se termine par la scission de l'échantillon en 2 parties pour des contraintes de quelques MPa. C'est donc la

présence de défauts et la ténacité faible du béton non armé qui sont responsables de sa faible résistance en traction. [4]

## **I.4 Mauvaise ductilité des bétons ordinaires**

De façon générale, la ductilité est définie comme l'aptitude d'un matériau, d'un élément ou d'une structure toute entière à pouvoir se déformer de façon inélastique en conservant une raideur et une résistance qui n'altèrent pas la capacité portante. Dans le cas d'une tour de grande hauteur en béton armé, la ductilité peut se traduire par la capacité d'un tel ouvrage à fléchir sous sollicitations sismiques sans que la fissuration

En partie tendue et/ou l'écrasement en partie comprimée du béton en pied ne conduisent à une perte de résistance et/ou de l'équilibre statique. [5]

## **I.5 LES FIBRES**

### **I.5.1. Définition des fibres:**

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

Dans le rapport sur l'état de l'art publié par le comité 544, de L'American Concrete Institute en 1982 nous pouvons lire : "Les fibres sont produites à partir d'acier, de plastique, de verre et de matériaux naturels sous différentes formes et dimensions ". [6]

### **I.5.2 Différents types de fibres**

Les fibres sont ajoutées aux matériaux cimentaires afin d'améliorer leurs caractéristiques à l'état durci. 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 leur propriétés mécaniques. Les principales fibres utilisées sont :

#### **I.5.2.1 Fibres naturelles**

- **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 utilisée pour l'isolation, se sont aujourd'hui révélées cancérogènes.

- **Fibres végétales :**

La principale fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis. Les fibres végétales résistent à la plupart des acides organiques mais sont détruite par les acides minéraux forts. Il existe quatre sorts de fibres végétales : les fibres provenant des poils, les fibres de liber. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction (fibres de bois).

### **I.5.2.2 Fibres synthétiques**

Cette famille regroupe plusieurs types de fibres comme (nylon, polypropylène, polyester ...etc.)

Elles sont apparues à la fin du XIXème siècle sous le nom de rayonne. Elles sont dérivées de la cellulose naturelle. Aujourd'hui, la plupart des fibres synthétiques proviennent des 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 acrylique, 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, t'issus pare-balle, les fuselages et ailes d'avion.

### **I.5.2.3 Fibres artificielles :**

Ce type de fibre est le plus utilisé dans le domaine industriel en général et dans le domaine de génie civil en particulier. Il regroupe les fibres de verre, les fibres de carbone, les fibres d'acier et d'autre. Elles sont aujourd'hui les plus répandues dans l'industrie de la construction. Nous allons présenter quelques principales fibres utilisées pour renforcer les mortiers et bétons.

### **I.5.2.4 Fibres de polypropylène**

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille de polyoléfines. 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 les processus d'extrusion, étirage qui confère une orientation prépondérante aux molécules et qui engendre des propriétés mécanique élevées. L'ajout des 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 de plusieurs constructions et aussi dans la réalisation des canalisations et des pieux.

#### **I.5.2.5 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 tours d'un diamètre de l'ordre de 10 à 100µm. 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 : les fibres de verre classique (silice, soude, chaux), la fibre de verre au zirconium et la fibre au borosilicate.

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.

#### **I.5.2.6 Fibres métalliques**

Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été resté encore l'objet de recherche très importante dans le monde. On se limite aux fibres d'acier qui sont les plus utilisées dans le domaine de génie civil. En effet les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interraciale entre fibre et la 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 conduits aux nombreuses variétés de fibre qui se différencient les unes des autres par leurs diamètre, leur section (rond, carré, rectangulaire). Leur longueur et leur mode 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.

Les fibres métalliques utilisées en dallage industriel sont les plus souvent des fibres tréfilées comportant généralement des fils de 1mm 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 celle commercialisées par la société Bekaert sous la marque "DRAMIX".

Il existe d'autres types de fibres artificielles qui sont utilisé pour le renforcement des mortiers ou béton telle que, fibres d'amiante, fibres de cellulose.....).

Chaque type de fibres présente des caractéristiques et des propriétés qui lui sont propres : Dimensions (diamètre, longueur...), formes (lisse, rugueuse, plate, ondulée, crantée...), résistance à la traction et adhérence au béton, qui procurent un comportement mécanique spécifique aux structures renforcées de fibres. [1]

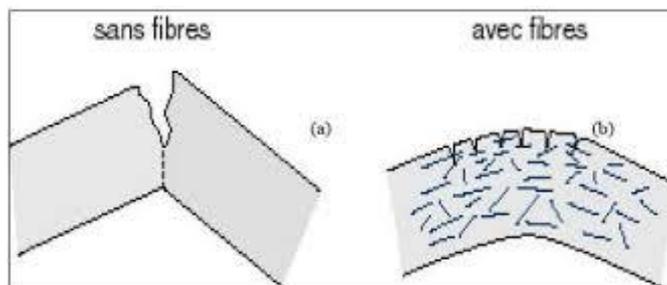
Principales caractéristiques physiques et mécaniques des fibres les plus utilisées sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau I.1** : Principales caractéristiques physiques et mécaniques des fibres les plus utilisées [7]

Fibres	Diamètre (Um)	Long mm	densité	R <sub>t</sub> MPA	E 10 <sup>3</sup> MPA	Allongement à la rupture %	Coef de dilatation (u/m)	R <sub>feu</sub> temps Max°C
Acier	5-500	20-80	7.8	1000-3000	200	3-4	11	1500
Fonte	36*2600 de section	50-60	7.8	2500	140	1	-	1500
Verre	5-20	40-70	2.6	1500-3000	80	2-3.5	9	800
Polypropylène	10-200	25-75	0.9	400-750	5-10	15-25	9	150
Polyester	-	-	1.4	700-850	8	11-13		
Amiante	0.02-20	5	2.5-3.4	3000	8-15	2-3	1	1500
Carbone	5-9	variable	1.7-2	2000-3000	250-400	0.5-1.5	-	400-1500
Sisal	10-50	1.50	1.5		130	3	-	-

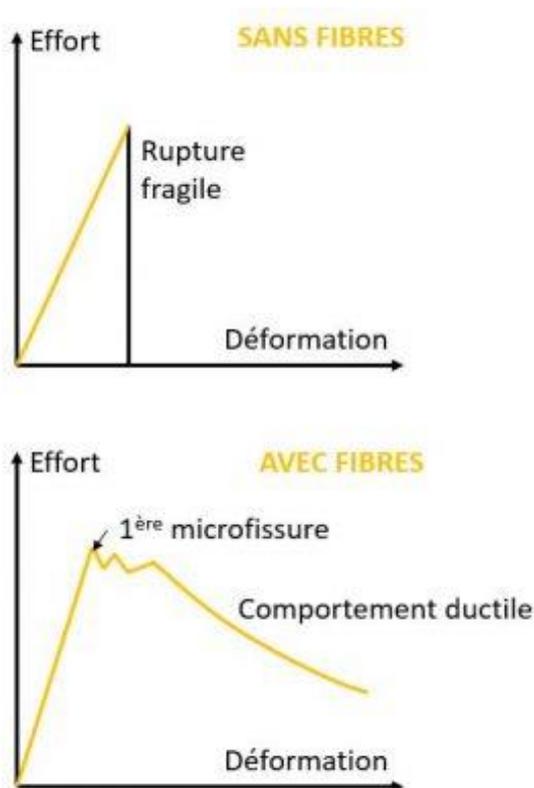
## I.6 Le rôle des fibres dans le béton

Le béton est un matériau fragile qui se rompt brutalement lorsqu'il atteint sa résistance à la traction. Les fissures s'y propagent donc de façon très rapide. Le béton armé de fibres se distingue du béton ordinaire par l'absorption d'énergie que procurent les fibres. La courbe (I.2) effort-déformation est différente : le matériau fragile au départ, s'est transformé en matériau ductile qui se rompt lentement après un allongement plus important dû à la formation d'un grand nombre de microfissures (plus grande énergie de rupture). Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer le béton et améliorer le comportement du béton essentiellement en traction, et en s'opposant à la propagation des microfissures. Elles peuvent également dans certaines applications remplacer les armatures passives. [8]



**Figure I.1. Fissuration dans le béton sans et avec fibres. [1]**

Les fibres métalliques ajoutées au béton frais rendent le matériau béton durci plus ductile et plus déformable. Ces fibres permettent la couture des fissures formées dans la matrice fragile du béton et à confiner leur développement, rendant le matériau durci plus apte à se déformer et donc à absorber de l'énergie. Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer le béton et améliorer le comportement du béton essentiellement en traction, et en s'opposant à la propagation des microfissures. Elles peuvent également dans certaines applications remplacer les armatures passives (les ouvrages minces). [8, 9]



**Figure I.2. Apport des fibres sur le comportement post fissuration du béton. [10]**

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

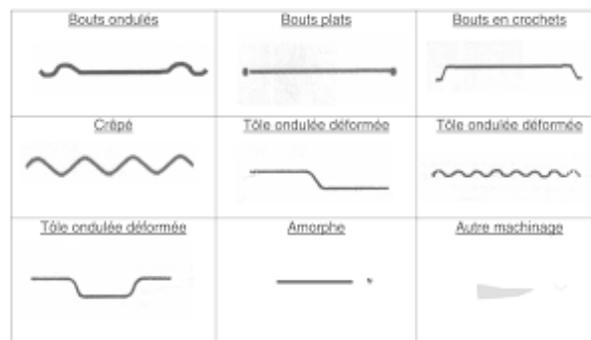
- la cohésion du béton frais.

- la déformabilité avant rupture.
- la résistance à la traction.
- la ductilité et la résistance contre les fissures.
- la résistance aux chocs.
- la résistance à la fatigue.
- la résistance à l'usure.
- la résistance mécanique du béton aux jeunes âges.
- la réduction des conséquences du retrait par effet de couture des microfissures.
- la tenue au feu.
- La résistance à l'abrasion. [11]

## I.7 Influence de la géométrie des fibres

Il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par leur nature, leur diamètre, leur longueur, leur forme et leur état de surface. Elles possèdent des caractéristiques différentes les unes des autres. Nous distinguons les fibres naturelles et les fibres artificielles ou synthétiques

Ou le tableau (I.3) classe les différents types de fibres



**Figure I.3** Géométrie des fibres métalliques [12]

Le choix des fibres dépend de l'usage recherché (pièces mince ou massives, renforcement de pâte pure, de mortier ou de béton, réparation de structure.....), de leurs propriétés (résistance et module plus ou moins élevés, adhérence plus ou moins bonne...) de leur disponibilité et de leurs prix. Il faut mentionner aussi les qualités recherchées pour les fibres :

- être relativement longues, fines, flexibles, ne pas se casser lors du malaxage
- Posséder une forte résistance en traction
- Bien adhérer à la pâte du ciment (forme- adaptée état du surface facilitant l'accrochage)
- Avoir un module d'élasticité adapté (parfois très supérieur à celui de la pâte pure du ciment)

- Ne pas être attaquées par le milieu basique du ciment; ni corrodées par le milieu extérieur
- Être stables dans le temps
- Être sans danger pour la main-d'œuvre
- Être efficaces pour un dosage peu élevé
- Être d'un prix compétitif et acceptable [13].

## **I.8 Formulation des bétons fibrés**

La plupart des méthodes de composition et les formulations BRFM sont des méthodes empiriques, basées essentiellement sur un grand nombre d'études expérimentales et aboutissent à des recommandations qui ne sont pas adaptées à toutes les utilisations que l'on fait des BRFM. Suivant l'application industrielle envisagée, la composition du BRFM. Doit être à chaque fois spécifique et conduire à une composition optimisée vis-à-vis de la nature des ouvrages, les objectifs et les buts visés.

Ainsi pour mieux optimisation de la composition des bétons de fibres métalliques le LCPC propose une méthode expérimentale basée sur la méthode Baron-Lesage, déjà utilisée pour les bétons courants.

La méthode de Baron-Lesage [11, 15 et 22] est basée sur deux hypothèses :

- Pour un dosage en eau et ciment fixé au départ (E/C, fixé)
- Le dosage optimal en granulats.

Le cahier des charges d'un BFM permet généralement de fixer :

- Le rapport eau/liant-Le diamètre du plus gros granulats-La géométrie et les dimensions de la fibre-Le pourcentage des fibres-La maniabilité souhaitée
- La détermination d'un rapport optimal de S/G et la maniabilité correspondante (une courbe de maniabilité en fonction de rapports S/G Si la maniabilité correspondant à l'optimum du squelette optimal est différente de celle fixée par le cahier des charges, il suffit soit d'augmenter soit de diminuer le volume de liant [9].

## **I.9 Comportement mécaniques des bétons fibrés avec des fibres métalliques**

L'étude du comportement en traction par flexion permet de mieux mettre en évidence l'effet d'un renfort de fibres via le gardien de déformation. L'addition de fibres entraîne une augmentation de résistance et une augmentation de la ductilité .Le comportement post-fissuration est significativement améliorée. Pour décrire le comportement mécanique des BFM» il est nécessaire de distinguer deux échelles : le matériau et la structure. Le

comportement de type matériau correspond à une répartition aléatoire de microfissures qui peuvent être "cousues" par des fibres courtes et fines présentes en grand nombre. Ceci a pour effet d'augmenter les caractéristiques intrinsèques du matériau. Dans un deuxième temps, la coalescence des microfissures conduit à la localisation de macrofissures, il apparaît alors un mécanisme de blocs, fonction des conditions aux limites, c'est-à-dire un comportement de structure. A ce niveau, les fibres longues interviennent par couture des fissures, de manière analogue à des armatures de béton armé, quoique pour des ouvertures de fissures plus limitées. Ces mécanismes physiques rendent compte du comportement mécanique des BFM soumis à des sollicitations aussi variées que la traction, la compression, le cisaillement...L'action mécanique des fibres est fortement liée à leur distribution. [13]

L'augmentation de la résistance résiduelle est due au pont et liaisons créés par les fibres placées stratégiquement est cousent les fissures. Lorsque les résistances résiduelles sont supérieures à la résistance au pic, on dit que le béton à un comportement ductile durcissant le processus de rupture se développe lors de la perte de ces liaisons et de déchaussement des fibres ou de la rupture de ces dernières. Ce phénomène et en fonction de la forme, de la taille des fibres et de leurs adhérence à la matrice cimentaire.

Le comportement en compression n'est que peu influencé par la présence des fibres. Les fissures créés ne permette pas aux fibres d'être sollicitées suffisamment pour améliorer significativement le comportement du béton.

Néanmoins, le comportement du béton renforcé de fibres, quel que soit le type de sollicitation, dépend fortement du type de fibres choisi, de leurs géométries, de leurs distributions et de leur orientation, ainsi que la compacité du béton qui les contient. [14]

La faible résistance à la traction du béton peut être compensée par l'ajout des fibres. Les fibres sont introduites dans le béton pour compenser la fragilité du matériau en traction par une couture de la macro- fissuration. Le bon comportement en traction des bétons de fibres est donc la propriété majeure.

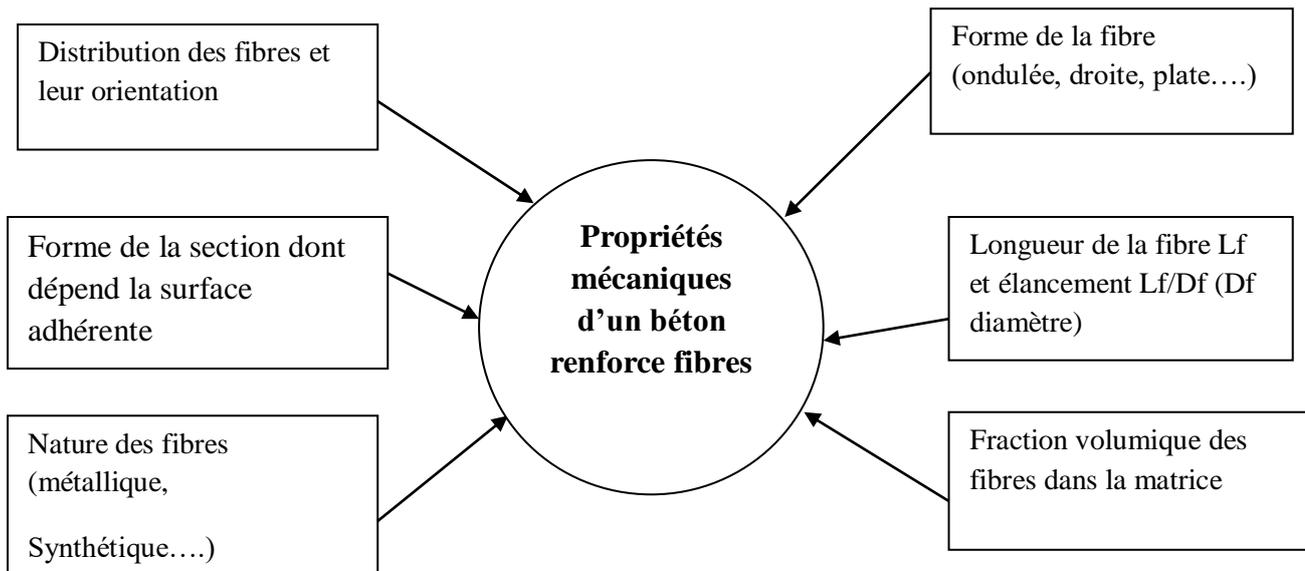
Les études réalisent montrer que le comportement à la traction, la ductilité et la déformation des BFM sont nettement améliorées par rapport au béton de référence. Cette amélioration est influencée par la formulation, la qualité du béton, le dosage en fibres, le type, la géométrie et l'orientation des fibres. D'autres et plusieurs études et essais ont été réalisé sur différents comportements de béton renforce par fibre métallique :

- comportement en torsion et en cisaillement.
- comportement au retrait et fluage.
- comportement dynamique.
- comportement à la fatigue.

Comme conclusion les études montrent que les contraintes de béton fibré sont liées aux plusieurs factures et paramètres dépendent essentiellement aux :

- la forme géométrique des fibres (plat, ondulé, ...etc.).
- la résistance des fibres à la rupture.
- le dosage des fibres.
- la longueur des fibres.

Ces paramètres influent essentiellement sur l'adhérence béton fibres dans la matrice. [15]



**Figure I.4** Différents facteurs influençant le comportement mécanique d'un béton renforcé de fibre. [2]

Selon une étude réalisée par Bencardino [Bencardino 2010], le comportement des éprouvettes en béton ordinaire est presque linéaire élastique jusqu'à la charge maximale, suivie par une légère branche descendante jusqu'à la rupture, qui provoque la séparation complète de l'échantillon en deux parties. Au contraire, les échantillons des bétons fibrés montrent une courbe tri-linéaire caractérisée par une branche linéaire jusqu'à la première fissure, suivie par un comportement non-linéaire jusqu'à la charge maximale. Dans la région à proximité de la charge maximale, il y a une propagation stable des fissures due à l'effet des fibres qui commande la propagation. Une fois la charge maximale est atteinte, la capacité portante commence à chuter et la perte de résistance devient plus élevée pour les faibles teneurs en fibres. [18,19].

## **Conclusion du chapitre**

L'étude bibliographique nous a permis de distinguer les différents types des fibres et le rôle de la géométrie des fibres métalliques pour l'amélioration de la résistance en traction des bétons à haute performance et pour avoir un béton ductile.

Selon les travaux de recherche réalisés, l'ajout des fibres a pour rôle principal de modifier les propriétés des bétons, Les fibres sont introduites dans le béton pour compenser la fragilité du matériau en traction par une couture de la microfissuration. Pour cela, notre étude expérimentale porte sur l'influence de la géométrie des fibres sur le comportement mécanique des bétons fibrés.

## **Chapitre II**

### **Matériaux, formulation et propriétés à l'état frais**

## II.1 Introduction

Après avoir établi au chapitre précédent, une synthèse bibliographique des études et travaux de recherche réalisées sur l'effet de la géométrie des fibres métalliques sur le comportement mécaniques des bétons a haute performances. On présente dans ce deuxième chapitre, qui est scindé en deux parties :

La première partie est consacrée à l'identification physico-chimique et mécanique des matériaux entrant dans la formulation des bétons d'études.

La deuxième partie décrit les méthodes de formulation des bétons d'étude ainsi que la procédure expérimentale et les résultats des propriétés des bétons à l'état frais.

## II.2 Identifications des matériaux

### II.2.1 Ciment

Le ciment utilisé est un ciment portland artificiel CEMI 42,5 de la société de SPA BISKRI CIMENT, il est constitué essentiellement de clinker, il est utilisé pour les bétons d'étude Conformément à la norme algérienne NA442-2013, et possède à une résistance rapide à court terme, destiné aux domaines où les délais de décoffrage sont courts.

La composition chimique et les propriétés physiques du CEMI 42,5 (CPA), selon la fiche technique, sont présentées au tableau II.1.

**RC** : Résistance mécanique en compression.

<i>Analyse chimique</i>		<i>Caractéristique physique</i>		
<i>Oxydes</i>	<i>% Massique</i>	<i>Désignations</i>	<i>Unités</i>	<i>Valeurs</i>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	21,00	<i>Mv apparente</i>	<i>(g/cm<sup>3</sup>)</i>	0,98
<b>AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4,41	<i>Mv absolue</i>	<i>(g/cm<sup>3</sup>)</i>	3,10
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,62	<i>SSB</i>	<i>(cm<sup>2</sup>/g)</i>	3728
<b>CaO</b>	63,76	<i>Reus au tamis 40 μm</i>	<i>(%)</i>	12,00
<b>MgO</b>	1,70-2,80	<i>Reus au tamis 80 μm</i>	<i>(%)</i>	1,05
<b>SO<sub>3</sub></b>	2,20-2,80	<i>Consistance normale</i>	<i>(%)</i>	25,80-26,40
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,47	<i>Expansion à chaud</i>	<i>mm</i>	0,25-1,0
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,16	<i>Début de prise</i>	<i>min</i>	150-190
<b>CL<sup>-</sup></b>	0,03-0,07	<i>Fin de prise</i>	<i>min</i>	220-250
<b>CaO Libre</b>	0,30	<i>Rc à 2 jours</i>	<i>MPa</i>	20-29
<b>Perte au feu</b>	2,60-3,70	<i>Rc à 28 jours</i>	<i>MPa</i>	42.5-52.5

## II.2.2 laitier granulé

Le laitier granulé de haut fourneau D'EL Hadjar (Annaba), est utilisé en qualité d'ajout, obtenue par refroidissement par trempé dans l'eau et chute dans un grand bassin, il se présente sous forme de sable de couleur gris clair de granulométrie 0 à 5 mm

Sa composition chimique est donnée au tableau II. 7, c'est un silico-aluminate de calcium et de magnésium, il est constitué essentiellement de quatre oxydes qui sont : (SiO<sub>2</sub>- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- CaO-MgO).

**Tableau II.2.** Composition chimique du laitier D'El -Hadjar (Annaba)

Élément	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Cl-	MnO
Oxydes (%)	41,69	7,05	1,41	39,77	5,49	0,15	0,44	0,10	-	-
Surface spécifique	5539 cm <sup>2</sup> /g									

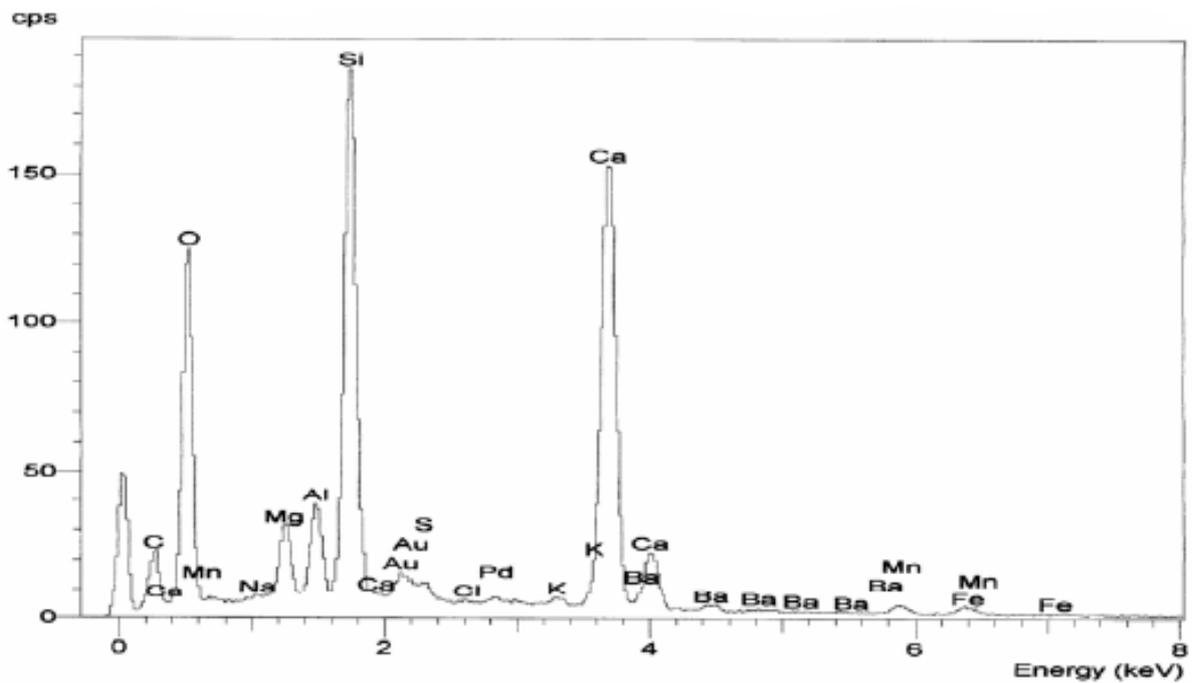
Les indices de basicité « Ib » indique si ce laitier est basique ou acide. Les indices les plus utilisés sont les suivants :

$$Ib1 = (\%CaO + \%MgO) / SiO_2 = 1,08, \quad Ib1 < 1,51$$

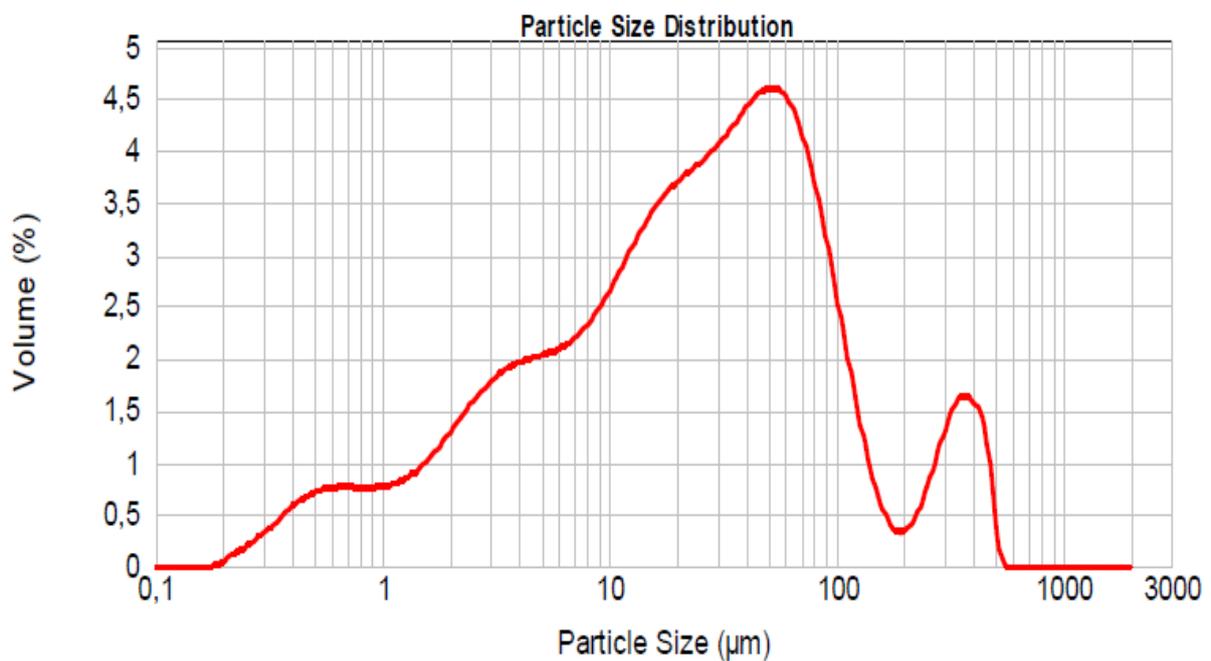
$$Ib2 = CaO / SiO_2 = 1, \quad Ib2 \geq 1$$

Module d'activité:  $Ma = Al_2O_3 / SiO_2 = 0.17$  (acceptable).

A partir des résultats obtenus, le laitier utilisé est un laitier basique, ce qui le rend apte à l'activation alcaline. Le diffractogramme du laitier granulé du haut fourneau d'Annaba présenté à la figure II.2 est typique de laitier amorphe qui présente cependant deux pics caractéristiques correspondant à la calcite et au fer.



**Figure II.1.** Diagramme de diffraction X du laitier granulé [15]



**Figure II.2.** Courbe granulométrique du laitier granulé (L) [15]

La préparation des fillers de ce laitier granulé a été faite par broyage à sec en laboratoire des matériaux au niveau de département de génie civil de l'université Badji Mokhtar-Annaba. Dont la composition chimique est donnée comme suite dans le tableau II.3

**Tableau II.3** Propriétés physiques de LHF après broyage

Humidité totale H <sub>2</sub> O	≤ 8%
Indice de basicité (CaO/ SiO <sub>2</sub> )	1.00 ± 0.15
Densité sur humide	0.88 – 0.92
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2.93
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,22
Finesse de mouture	2.6 %
Surface spécifique de Blaine (cm <sup>2</sup> /g) SSB	5539



**Figure II.3:** Echantillon de laitier LHF avant après broyage

**Tableau II.4** Temps de broyage et surface Blaine du laitier vitrifié.

Temps de broyage (heures)	Surface spécifique Blaine (cm <sup>2</sup> /g)
T <sub>b</sub> = 3	SSB = 2822
T <sub>b</sub> = 8	SSB = 5539

### II.2.3 Eau de gâchage

Les conditions imposées à l'eau de gâchage sont précisées par la norme (NF P 18-303). Cette eau doit être propre et sans matières organiques. L'eau utilisée dans notre étude est une eau potable de robinet de la ville d'Annaba.

### II.2.4 Les granulats

### II.2.4.1 Le sable

#### Définition :

Elément inerte entrant dans la composition des bétons .Il peut être naturel, artificiel. Les caractéristiques principales requises pour un bon sable pour la fabrication d'un béton, sont la propreté définie par l'essai d'équivalent de sable et la granularité déterminée par l'analyse granulométrique.

Deux types de sable sont utilisés dans cette étude : le premier est un sable de dune de la wilaya de Tébessa et le deuxième est un sable de carrière de la wilaya de Guelma (Carrière Bousselba), ils ont été caractérisés par les essais physiques suivants :



**Figure II-4 :** Sable de deux types (dune et carrière).

**Analyse granulométrique :** l'analyse granulométrique des deux types de sable et deux gravillons est donnée sous forme de tableaux et illustrée sous forme de figure.

**Tableau II.5** Composition granulométrique de sable siliceux fin

Sable siliceux fin 0/2					
Masse totale de l'échantillon (g)	Dimension s des tamis en (mm)	Refus partiel sur tamis en (g)	Refus partiel sur tamis en (%)	refus cumulé A <sub>i</sub> en (%)	Tamisât en %
1000	5	0	0	0	100
	4	2.34	0.23	0.23	99.76
	3.15	4.12	0.41	0.64	99.35
	2.5	12.70	0.27	1.91	98.07
	1.6	30.53	3.06	4.97	95.01
	1.25	38.89	33.90	8.87	91.10
	1	27.61	2.77	11.64	88.33
	0.63	209.20	21.00	32.64	67.33
	0.315	332.63	33.39	66.03	33.94
	0.160	215.26	21.61	87.64	12.33
	0.125	58.28	5.85	93.49	6.48
	0.08	32.93	3.31	96.8	3.17
	<0.08	31.65	3.18	100	0
Σ		996.14			
Mf		2.1			

**Tableau II.6** l'analyse granulométrique de sable de carrière

analyse granulométrique de sable de carrière					
Masse totale de l'échantillon (g)	Dimension s des tamis en (mm)	Refus partiel sur tamis en (g)	Refus partiel sur tamis en (%)	refus cumulé A <sub>i</sub> en (%)	Tamisât en %
1000	6.3	0	0	0	100
	5	0	0	0	100
	4	16.2	1.62	1.62	98.38
	3.15	118.6	11.86	13.48	86.52
	2	247.5	24.75	38.23	61.77
	1.5	204.8	20.48	58.71	41.29
	1	42.7	4.27	62.98	37.02
	0.315	175.4	17.54	80.52	19.48
	0.16	110.8	11.08	91.6	8.4
	0.125	65.7	6.57	98.17	1.83
	0.08	5.4	0.54	98.71	1.29
	<0.08	10.4	1.04	99.78	0.22
Σ	997.5				
Mf	2.6				

### II.2.4.2 Le gravier

#### Définition

Elément inerte entrant dans la composition des bétons, son origine est naturelle ou artificielle. Dans cette étude nous avons utilisé deux fractions (3/10) et (10/16). Les résultats de l'analyse granulométrique sont présentés au tableau II.7 et II.8.

**Tableau II.7** L'analyse granulométrique du gravillon 3/10

Gravier 3/10					
Masse totale de l'échantillon (g)	Dimension s des tamis en (mm)	Refus partiel sur tamis en (g)	Refus partiel sur tamis en (%)	refus cumulé A <sub>i</sub> en (%)	Tamisât en %
2000	12.5	0	0	0	100
	10	0	0	0	100
	8	307.9	15.44	15.44	84.56
	6.3	432.9	21.71	37.15	62.85
	5	418.6	20.99	58.14	41.86
	3.15	793.5	39.79	97.93	2.07
	Fond	40.9	2.05	99.98	0.02
	Σ		1993.9		

**Tableau II.8** l'analyse granulométrique du gravillon 10/20

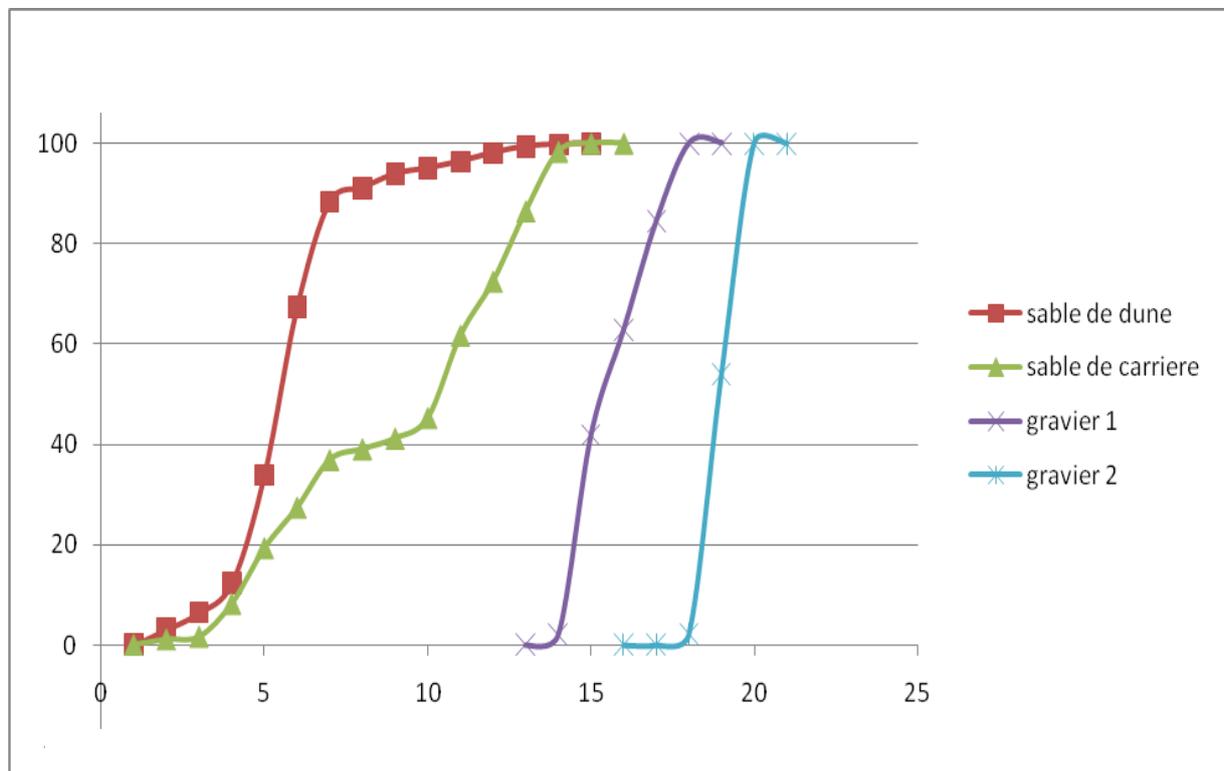
Masse totale de l'échantillon (g)	Dimension s des tamis en (mm)	Refus partiel sur tamis en (g)	Refus partiel sur tamis en (%)	refus cumulé A <sub>i</sub> en (%)	Tamisât en %
3200	20	0	0	0	100
	16	0	0	0	100
	12.5	1470	46	46	54
	10	1655	51.79	97.79	2.21
	Fond	70	2.19	99.98	0.02
Σ		3195			

## II.5 Propriétés physiques des granulats

Les propriétés physiques des granulats sont représentées au tableau suivant :

**Tableau II-9** Caractéristiques phasiques des granulats

caractéristiques	Unité	Sable de dune	Sable de carrière	Gravier 3 /10	Gravier 10/16
Module de finesse	-	2.1	2.60	-	-
La masse volumique apparente	g/cm <sup>3</sup>	1.47	1.40	1.26	1.34
La masse volumique absolue	g/cm <sup>3</sup>	2.6	2.63	2.65	2.65



**Figure II-5** courbe granulométrique de sable et de gravier

## II.2.5 FIBRES

### Caractéristiques des fibres utilisées :

Les fibres utilisées sont des fibres métalliques de forme crochet, et fibres ondulées

#### II. 2.5.1 Les fibres métalliques de forme crochet



**Figure II.6 :** Fibres métalliques de forme crochet.

Les fibres SIKA® METAL FIBRES RL-45/50-BN sont fabriquées à partir de fil d'acier tréfilé. Elles comportent un ancrage mécanique constitué de crochets aux extrémités.

Elles sont libres non encollées.

- Domaines d'application : - Sols industriels.  
- Dalles sur colonnes ballastées.
- Caractéristiques :

- Nature.....Fil d'acier tréfilé sans revêtement.
- Longueur.....50 mm.
- Diamètre.....1.05mm.
- Elancement.....48.
- Nombre de fibres.....2800 fibres/kg.
- Résistance en traction.....1000 MPa (sur fil).

#### II.2.5.2 Les fibres métalliques de forme ondulées

Les fibres métalliques utilisées sont des fibres en acier ondulées commercialisé SIKA® METAL. La forme et les dimensions des fibres choisies ont un rôle important dans l'amélioration des propriétés mécaniques des bétons.



**Figures II.7** fibres métalliques ondulées utilisées

Les caractéristiques techniques de ces fibres sont données dans le tableau II.10

**Tableau II.10** Caractéristiques des fibres métalliques de forme ondulées

Longueur (mm)	Elancement L/D	Section transversale en mm <sup>2</sup>	densité	Résistance a la traction (MPa)	Module élasticité en (GPa)
55	69	08	7.8	2000	140

## II.3 Formulation des bétons d'étude.

### II.3.1 Méthode de DREUX GORISSE

Dans notre étude, deux approches de formulation sont utilisées pour optimiser la composition. La méthode de Dreux-Gorisse pour déterminer les dosages des différents constituants. la méthodes de Sherbrooke

La méthode de Baron Lesage pour la formulation du béton de fibres.

□□ **La Méthode de « Dreux Gorisse »** elle permet de définir de façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié mais que, seules quelque gâchées d'essais et de confection des éprouvettes permettrons d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement utilisés cette méthode de formulation s'appuie sur les étapes suivant :

### II.3.1.1 Les données :

Fc28 : résistance en compression a 28 jrs

Les plasticités désirée mesurée par l'affaissement au cône d'Abrams (AC) peut avoir un béton pour plastique

D : Dimension maximales des granulats en mm

### II.3.1.2 Mode opératoire :

La résistance serait :

$$F_{c28} = f_c + 15\%f_c \dots\dots\dots (II-1)$$

#### 1- Dosage en ciment et en eau :

A partir de la formule ci-dessous on détermine le rapport C/E

$$F_{cj28} = G.f_{c28}.(C/E - 0.5) \dots\dots\dots (II-2)$$

Avec :

F<sub>cj</sub> : classe vraie du ciment à 28 jrs en bars

C : dosage en ciment en kg/m<sup>3</sup>

G : coefficient granulaire : valeur tabulée en fonction de la qualité des granulats

(Bonne ou courant, excellent, passable) et de la dimension de gros granulats les valeurs approximatives de G supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonne conditions (par vibration en principe).

E : Dosage en eau sur matériaux secs (en litre pour 1 m<sup>3</sup> de béton)

Le dosage en ciment est tire de l'abaque en fonction de C/E et A.

Ayant fait le choix du dosage en ciment C, on calcule alors le dosage approximatif du l'eau E.

#### 2- Dosage en granulats :

Les proportions des constituants granulaires du mélange sont de duites d'une courbe de référence OAB.

Le point O(0,0)

Le point A (D<sub>max</sub>/2,50-D+k+k<sub>p</sub>+k<sub>s</sub>)

Le point B (D<sub>max</sub>, 100%)

Les proportions volumiques des différents granulats dans le mélange sont alors tirées des graphiques selon les lignes de partage. La projection sur l'axe des tamisât des points d'intersection entres les lignes reliant le point 95% des passants Dun granulats au point 5% des passants des granulats suivante et la courbe granulaire référence permet de lire les quantités (g<sub>i</sub>) en pourcentage de chaque fractions de granulats ( sable et gravier).

Le volume total absolu des granulats.  $V_{GT} = 1000 \cdot \gamma - V_c \dots\dots\dots (II.3)$

Avec :

$\gamma$  : coefficient de compacité qui est fonction de  $D_{max}$ , de la consistance et du moyen du serrage

Les volumes absolus de chaque granulat sont donnés par l'expression suivante :

$$V_{GT} = G_i * V \dots\dots\dots (II.4)$$

Avec :

$V_{GT}$  = volume des granulats en (kg/m<sup>3</sup> de béton)

$G_i$  : pourcentage des granulats tiré du graphique (%)

$V$  : volume totale des granulats (m<sup>3</sup>).

### II.3.2 La méthode de Sherbrooke

La méthode de formulation développée à l'université de Sherbrooke permet de formuler un BHP sans air entraîné; elle peut aussi être utilisée pour formuler un BHP à air entraîné à condition de tenir compte de la réduction de la résistance à la compression due à la présence du réseau de bulles d'air contenu dans le béton. Cette méthode très simple suit la même approche que la norme ACI 211-1. IL S'agit d'une combinaison de résultats empiriques et de calculs basée sur la méthode des volumes absolus. La quantité d'eau contenue dans le super plastifiant est considérée comme faisant partie de la quantité d'eau de gâchage

La procédure de formulation commence par le choix de cinq caractéristiques particulières du BHP ou des matériaux utilisés: - le rapport eau / liant; - le dosage en eau ; - le dosage en super plastifiant; - le dosage en gros granulat; - la teneur en air. Tous les calculs nécessaires à la formulation d'un BHP sont présentés sur une seule feuille de calcul :

**Rapport**

eau/liant : On peut trouver le rapport eau /liant en utilisant pour des bétons ayant une résistance à la compression donnée à 28 jours.

**Dosage en eau:**

Une des plus grandes difficultés rencontrées lorsque l'on calcule la composition d'un BHP est de déterminer la quantité d'eau qu'il va falloir utiliser pour fabriquer un béton qui aura un affaissement de 200 mm plus d'une heure après son malaxage. En effet, la maniabilité d'un BHP est contrôlée par plusieurs facteurs: la quantité initiale d'eau, la réactivité du ciment, la quantité de super plastifiant et son degré de compatibilité avec ce ciment particulier. La meilleure façon de trouver le bon rapport entre la quantité d'eau et la quantité de super

plastifiant est d'utiliser un plan d'expérience (Rougeron et Aitcin, 1994). La figure II-10 présente une approche simplifiée, basée sur le concept de point de saturation. Lorsque le point de saturation du super plastifiant n'est pas connu, on suggère de commencer avec une quantité d'eau de malaxage égale à 145 L /m<sup>3</sup>.

Dosage en super plastifiant: Le dosage en super plastifiant se déduit du dosage au point de saturation. Si l'on ne connaît pas le point de saturation, on peut toujours commencer avec un dosage en super plastifiant égale à 1.0%

#### **Point de saturation:**

Quand on mesure le temps d'écoulement pour différents dosages en super plastifiant à différents instants et que l'on exprime ce dosage sous forme de pourcentage de solides contenus dans le super plastifiant par rapport à la masse de ciment

Dosage en gros granulat : Le dosage en gros granulat en fonction de la forme des granulats. S'il y a quelque doute sur la forme des granulats ou si on ne la connaît pas, on peut toujours commencer avec une quantité de gros granulats de 1000 kg/m<sup>3</sup>.

### **II.3.3 La méthode de Baron Lesage [Baron 1976]**

Pour l'optimisation de la composition finale d'un béton fibré. Cette méthode est articulée sur trois hypothèses :

- le rapport eau sur ciment (E/C) doit être fixé au préalable.
- les proportions optimales en granulats ne dépendent pas de la nature et du volume du liant.
- l'introduction des fibres métalliques ne modifie pas les deux premières hypothèses.

La composition d'un béton fibres métalliques est totalement différente de celle d'un béton courant. Ceci se traduit par le fait qu'un composite fibrés ne s'obtient pas en introduisant simplement des fibres dans une matrice données.

La formulation du béton de fibre consiste à la détermination de la composition optimale de la matrice avant qu'elle sera renforcée par les fibres métalliques. La présence des fibres dans un béton nécessite une matrice enrichie en éléments fins afin de bien enrober ces fibres.

Le choix de la quantité de fibres s'appuie sur différents critères. Une teneur élevée en fibres permet d'améliorer les performances mécaniques mais entraîne en contrepartie des problèmes d'ouvrabilité et de ségrégation à l'état frais et augmente aussi le cout final du matériau.

Dans notre cas et afin d'éviter ces inconvénients, le dosage maximal en fibre est limité à 78kg/m<sup>3</sup> (1,2% du volume total).

Pour chaque taux de fibres, des ajustements ont été apportés sur le dosage total en granulat afin de ramener le volume total de tous les constituants à 1 m<sup>3</sup>.

## II.4 CALCULS DE LA COMPOSITION DES BETONS

### Composition N 01

A – Béton de référence (BO)

Détermination des dosages des constituants de béton de référence

**Tableau II-11** les données de base de la formulation DREUX-GORISSE

Béton	Fc a 28j du béton (Rn)	30MPA
	Béton plastique Aff.	7cm
	Vibration normal	
Ciment	Rc a 28 j du ciment	42.5 MPA
	Fc vrai du ciment	30MPA
	MV ciment	3.1 g/cm <sup>3</sup>

- La résistance nominale  $f_c = A$
- Le dosage en ciment  $c = 400 + SP$
- La résistance moyenne à 28 jrs = 34.5 MPA
- Le dosage en eau  $E = 177 \text{ kg/m}^3$
- Rapport C/E = 2.3
- Tracer de la courbe de référence OAB :  $x = 8\%$ ,  $y = 42\%$
- **14 % des granulats sables, 25% de gravier 3/10 et 61% de gravier 10/16**
- Les dosages des granulats sont calculés selon les proportions données par le graphe. Après avoir déterminé les pourcentages des quatre fractions de granulats selon la méthode de Dreux – Gorisse, nous avons procédé à la détermination de la composition des bétons d'étude on utilisant la méthode de Sherbrooke avec un ajustement de la formulation par l'utilisation de la méthode de Baron- Lesage. La composition finale des bétons d'étude est donnée dans le tableau II.14

**Tableau II-12** la composition de béton d'étude

	Dosage pour 1m3				Dosage pour 20l			
	Dosage massique Kg		Dosage volumique L		Dosage massique Kg		Dosage volumique L	
	B T	BFM	BT	BFM	BT	BFM	BT	BFM
<b>Ciment</b>	477.19	477.19	159.06	159.06	9.54	9.54	3.18	3.18
<b>Laitier granulé</b>	84.21	84.21	17.15	17.15	0.960	0.960	0.343	0.343
<b>Eau</b>	180	180	180	180	3.950	3.950	3.6	3.6
<b>Sable 1</b>	306.4	306.4	117.84	117.84	6.12	6.12	2.35	2.35
<b>Sable 2</b>	327.24	327.24	124.90	124.90	6.56	6.56	2.49	2.49
<b>Gravier</b>	403.83	390.557	152.38	147.38	8.07	7.29	3.04	2.94
<b>Gravier</b>	646.15	632.899	243.83	238.83	12.92	12.14	4.87	4.77
<b>Fibres (1%)</b>	/	78	/	10	/	1.56	/	0.2

## **II.5 L'influence de la géométrie des fibres sur les propriétés des bétons à l'état frais**

### **II.5.1 L'influence de la géométrie des fibres sur la maniabilité**

La maniabilité ou l'ouvrabilité d'un béton fait représente sa capacité à se mettre en œuvre sous son propre poids avec ou sans l'aide d'une vibration. L'essai le plus répandu pour la quantifier est l'essai d'affaissement au Cône d'Abrams (norme [NFP 18-451] encore appelé slump-test (norme [ISO 4109])). La méthode d'essai est définie par la norme [NFP 18-451].

Les classes de consistance sont définies en fonction des variations de l'affaissement []

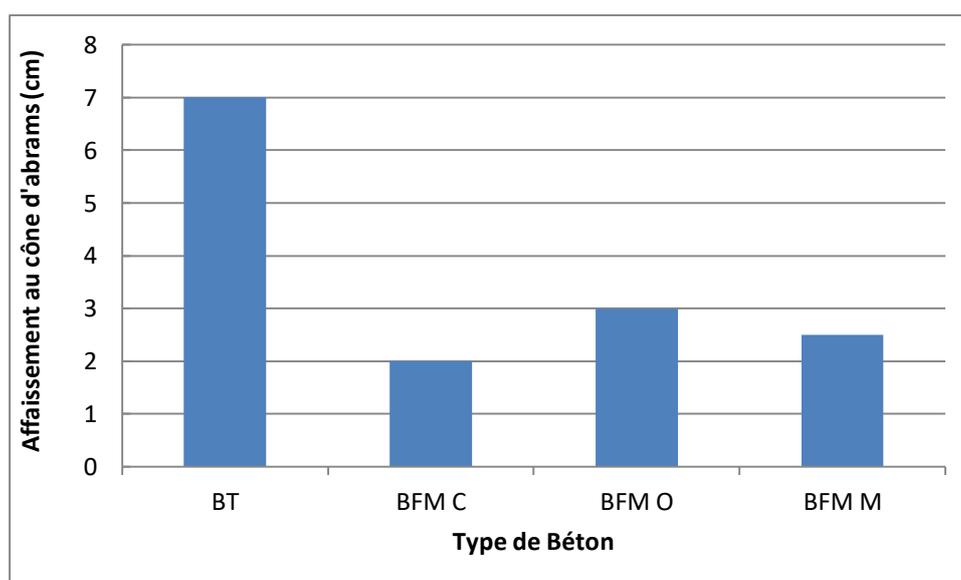
L'influence de la géométrie des fibres sur la maniabilité est illustrée par la figure (II.8)



**Figure II-8** Mesure de la consistance Affaissement au cône d'Abrams

**Tableau II.13** l'influence de la géométrie des fibres sur la maniabilité

Dénomination du béton	Affaissement au cône d'Abrams en cm
Béton témoin	7 cm
Béton avec fibre a crochet	2 cm
Béton avec fibre ondules	3 cm
Béton avec mélange des fibres	2.5cm



**Figure II-9** Effet de la géométrie sur de la maniabilité

## Interprétation

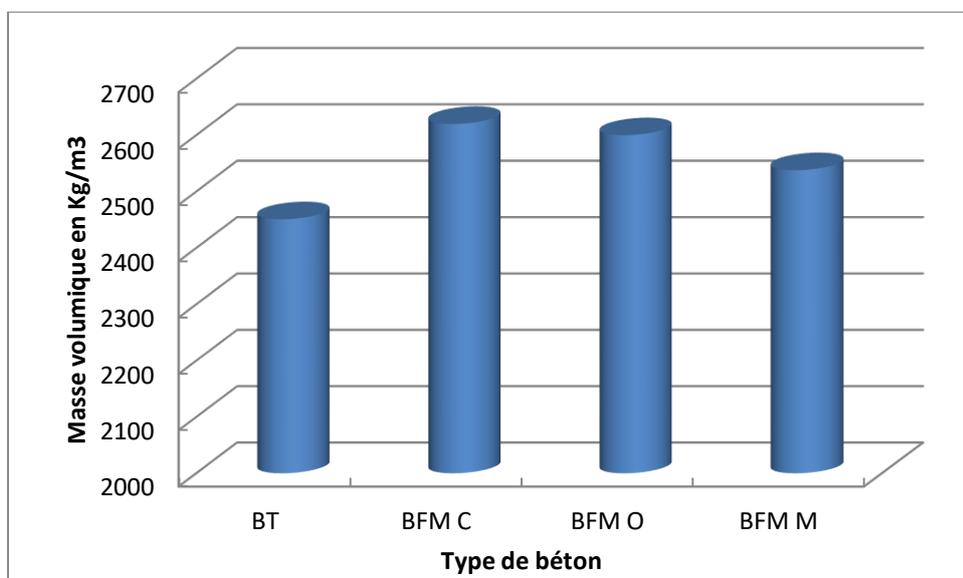
Selon le tableau II.10 et la figure II.6 on constate que la maniabilité est affectée par l'introduction des fibres quel que soit le dosage et la géométrie des fibres. Une diminution de l'affaissement au cône a été constatée et cela est attribué à la cohésion apportée par l'ajout des fibres. Cette perte de maniabilité est due aussi à l'augmentation de l'emboîtement et le frottement entre les fibres et les agrégats. Cela peut s'expliquer aussi par le fait que les fibres améliorent la cohésion des mélanges.

### II.5.2 L'influence de la géométrie des fibres sur la masse volumique

L'influence de la géométrie des fibres sur la masse volumique à l'état frais est donnée au tableau II.14 et illustré par la figure (II.10) :

**Tableau II.14** l'influence de la géométrie des fibres sur la masse volumique

Type de béton	La masse volumique Kg/m <sup>3</sup>
Béton témoin	2451.6
Béton avec fibres crochets	2620
Béton avec fibres ondulées	2600
Béton avec mélange des deux fibres	2538.3



**Figure II.10** Influence de l'incorporation des fibres métallique sur masse volumique

## Interprétation

D'après les résultats présentés dans le tableau (II.14) et la figure(II.10), on remarque une augmentation de la masse volumique avec l'incorporation de fibres quel que soit la forme des fibres. Cela est dû au fait que la masse volumique des fibres métalliques utilisées qui est de l'ordre de 7800 kg/m<sup>3</sup> est largement supérieur aux autres constituants du squelette granulaire.

### **Conclusion du chapitre**

Dans ce chapitre, nous avons présente les différentes caractéristiques des matériaux utilises. Les formulations choisies et les résultats et du taux de fibres sur les propriétés du béton a l'état frais. . Dans cette partie de travail on a étudié les caractéristiques physico-chimiques des additions minérales et leurs influences sur le comportement des BHP à base de liant ternaire à l'état frais. Donc on peut tirer les conclusions suivantes :

- Les résultats obtenus à partir de l'étude de caractérisations des composants montrent qu'ils répondent aux besoins normatifs pour arriver à un BHP
- l'ajout des fibres métalliques confère au béton à l'état frais une cohésion du mélange ce qui affecte la maniabilité avec une diminution de l'affaissement au cône
- L'ajout des fibres métalliques augmente la masse volumique intrinsèque du béton.

## **Chapitre III**

# **Comportement mécaniques des bétons fibrés d'étude**

### III.1 Introduction

Dans le but de réduire la fragilité du béton et d'augmenter la résistance post fissuration des bétons témoins, les recherches sont orientées vers le renforcement des bétons par des fibres métalliques réparties de manière aléatoire dans la matrice.

En général, les fibres sont noyées au hasard dans le béton, il arrive que, par des mises en œuvre adaptées, on puisse donner aux fibres une orientation préférentielle correspondant à la direction des contraintes principales pour améliorer la résistance à la traction ou à la flexion d'une pièce. Les différentes recherches effectuées jusqu'à présent, et les premières applications font espérer que le béton de fibres permettra la fabrication d'éléments plus mince et résiste mieux à la fissuration. Ce chapitre est consacré à l'étude de l'influence de la géométrie des fibres sur le comportement mécanique en compression, en traction par flexion des bétons fibrés et le suivi du processus de déformation et de fissuration à travers les courbes charge- déplacement et charge – ouverture de fissures.

### III.2 résistance en compression

#### III.2.1 Essai de compression

La résistance mécanique en compression est un repère principal de la résistance mécanique qui caractérise la qualité du matériau « béton ». Ce paragraphe présente une description détaillée de la procédure de détermination de la résistance mécanique en compression.

Les éprouvette utilisées sont de la forme cubique de démentions (100x100x100) mm confection conformément à la norme NF EN 12390-3NF EN 12390-3 2012. Après démoulage à 24 heures, les éprouvettes sont conservées en humidité saturante jusqu'aux échéances des essais qui sont 02, 07 et 28 jours. Pour chaque béton et chaque échéance d'essai la résistance en compression obtenue est la moyenne issue de trois éprouvettes.

L'écrasement des éprouvettes a été réalisé à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 KN asservie en force avec une vitesse de chargement de 2.4 +- 0.2 KN/Sec. La charge de rupture correspond à la charge maximale enregistrée au cours de l'essai. La résistance à la compression a "j" jours  $f_{cj}$  est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette :  $f_{cj} = p/s$  (MPa) ou  $p$  : charge de rupture en N,  $S$  : section transversale de l'éprouvette en mm<sup>2</sup>, est évident pour les bétons ordinaires, que le mécanisme de rupture en compression dépend d'abord des événements de rupture en traction

interne. D'abord, apparaissent des fissures parallèles au chargement et ensuite se forment des fissures obliques.

D'après Rossi (Rossi 1998), l'origine de ces fissures de traction pendant la compression serait due à des contraintes au niveau de la pâte de ciment durcie, causées par différence de raideur entre celle-ci et les granulats. L'utilisation des fibres métalliques en petites proportions, n'affectent pas significativement la résistance à la compression du béton (Rossi 1987). L'augmentation de la résistance à la compression finale par l'addition de fibres d'acier varie de 0 à 15 % pour un dosage volumique de 15 % de fibres [Comité ACI 544 1997].

[Bascoul 2003], montre que pour des bétons à hautes performances fibres, des gains de résistance en compression d'environ 25 % sont obtenus après l'utilisation de microfibres métalliques de 13 mm de longueur et avec un dosage de 80 kg/m<sup>3</sup> par rapport à celle du béton non fibre. L'ajout de fibres d'acier affecte non seulement la résistance à la compression ultime, mais confine le matériau et retarde la propagation de la fissure, ce qui améliore la résistance en compression au pic et au poste pic ainsi que la ductilité relative du matériau.



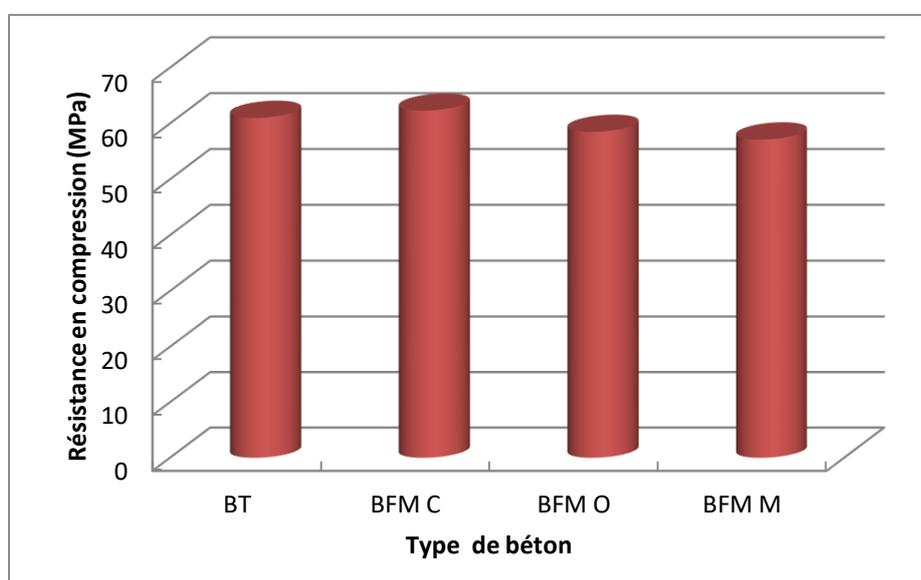
**Figure III-1** Essai de compression

### **III.2.1.1 Résultats et interprétation du test de compression**

Les résultats du test de compression des éprouvettes de bétons à haute performance à base de fibres métalliques sont représentés dans le tableau

**Tableau III.1** résultats de résistance en compression

Résistance en compression (MPa) à 28j				
Type de Béton	Béton témoin	Béton avec fibre crochet (BFMC)	Béton fibre avec ondulé (BFMO)	Béton avec mélange de deux fibres (BFMM)
Résistance à la compression	61.323	62,3	58,5	57.135



**Figure III.2** influence de la géométrie des fibres sur résistances en compression des bétons d'étude a 28 jours.



A/Béton témoin



B/Béton avec fibres crochets



C/Béton avec fibres ondulées



D/Béton avec mélange des fibres

**Figure III-3** Mode de rupture en compression

### **Interprétation**

D'après les résultats on constate que la résistance en compression à 28 jours se diffère d'un béton à l'autre selon la géométrie des fibres. On remarque que la géométrie des fibres métalliques influence légèrement la résistance en compression.

Par l'analyse des résultats présentés dans la figure (III.2). On constate que l'ajout des fibres métalliques de forme crochet conduit à une légère amélioration de la résistance en compression cela s'explique par le fait que les fibres métalliques offre une meilleure adhérence fibres matrice cimentaire à cause de leurs forme crochet

ainsi que l'orientation des fibres oblique ou perpendiculaire à la charge qui s'oppose aux contraintes de traction engendrées par l'effort de compression. Cette meilleure adhérence permet de bien s'opposer aux fissures provoquées par les contraintes de tractions et/ou de cisaillements engendré lors de l'essai de compression. Par contre les fibres ondulées conduits à une légère diminution de la résistance en compression.

### III.3 Déformation et comportement mécanique en traction par flexion

#### III.3.1 Introduction

La résistance en flexion  $f_{tf}$  également reconnu comme **module de rupture ou résistance à la flexion ou résistance à la rupture transversale**, est une propriété du matériau, bien définie comme la contrainte du matériau juste avant qu'elle ne cède dans un test de flexion. Un échantillon (section transversale circulaire / rectangulaire) est plié jusqu'à fracture ou élasticité en utilisant un test de flexion en 3 points. La résistance à la flexion signifie la contrainte la plus élevée appliquée au moment de la flexion. »

#### III.3.2 Test de traction par flexion trois points

L'essai de flexion 3 points réalisé été effectué sur des éprouvettes prismatiques 10x10x40 cm<sup>3</sup>. La résistance en traction par flexion est donnée par l'équation ;

$$f_{tf} = 3PI/2bh^2$$

$f_{tf}$  : résistance en traction par flexion en MPA

$l$  : portée (distance entre appuis) en mm

$b$  et  $h$  : largeur hauteur de la section de l'éprouvette en mm

$P$  : charge maximale en N

- **Procédure expérimentale :**
- L'essai de traction par flexion d trois points consiste à placer l'éprouvette dans la machine de traction par flexion de en trois points sur les deux appuis de façon à laisser 5 cm à chaque extrémité des éprouvettes (Voir la figure III.4).
- Tracer le milieu de l'éprouvette et fixe le comparateur au-dessous de l'éprouvette.

- En applique des charges ascendantes sur éprouvette et lire les déplacements sur le' comparateur.
- Dès que la fissure apparaîtra en utilise la loupe pour mesurer les fissures par précision jusqu'à la rupture
- Les contraintes sont calculés selon l'équation ( $f_{tj} = 3Pl/2bh^2$ ) et les résultats sont illustres ensuite' sous forme des courbes.



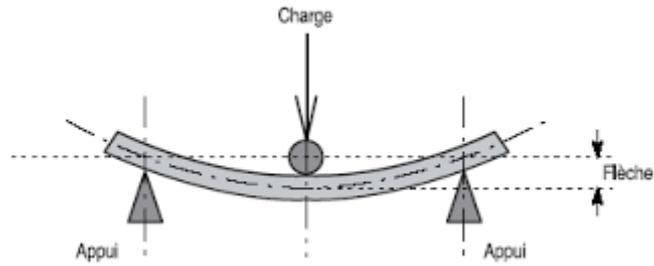
**Figure III-4** La machine de traction par flexion trois points

### III.3.3 Charges– déplacement et charges - ouverture de fissures

La flexion provoque une distribution de contraintes présentant à la fois un gradient et une répartition de contraintes de traction et de compression de part et d'autre de la fibre

L'essai de flexion détermine l'aptitude à la déformation d'un matériau sur deux appuis avec une application de l'effort à mi-distance.

On impose à une éprouvette normalisée une déformation ou flèche a vitesse de déformation constante, et on mesure la force qu'oppose l'éprouvette à cette déformation.



**Figure III-5** Détermination de déplacement en flexion

### **III.3.4 Résultats de comportement mécanique en flexion des éprouvettes**

- 1/ Cas de béton témoin sans fibres.
- 2/ Cas de béton avec fibres crochets.
- 3/ Cas de béton avec fibres ondulées.
- 4/ Cas de béton avec mélanges des deux fibres.

#### **III.3.4.1 Cas de béton témoin**

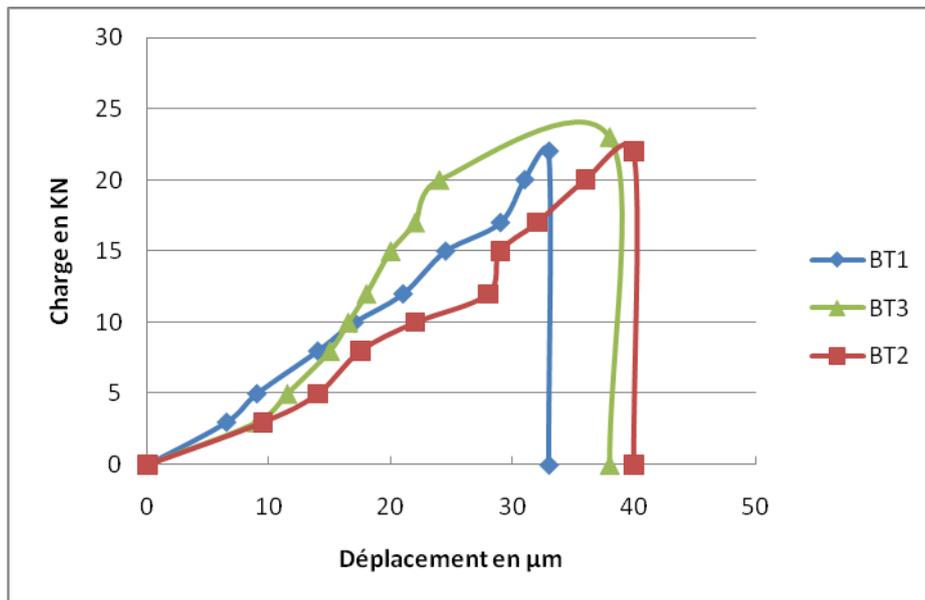
La déformation et le mode de fissuration et de rupture des bétons témoin sans fibres et illustres par les (figures III.6) et(III.7)



**Figure III.6** Essai de traction par flexion de l'éprouvette en béton témoin



**Figure III-7.** Mode de fissuration et de rupture de l'éprouvette en béton témoin



**Figure III-8** Courbe charge – déplacement de l'éprouvette en béton témoin

**Interprétation**

Cette figure confirme clairement que le béton témoins sans fibre est très fragile et de ductilité très faible. La figure (III-8) présente Courbe charge – déplacement de l'éprouvette en béton témoin. il est clair que la déformation du béton témoin sans fibres métalliques présente une phase élastique jusqu'à la charge ou contrainte maximale suivi d'une rupture brutale comme le montre la figure ci-dessus.

### III.3.4.2 Cas des éprouvettes avec fibres à crochets

La déformation, le mode de fissuration et de rupture des éprouvettes avec fibres crochets sont illustrées par les figures suivantes.



A/ Apparition de la première fissure sur l'éprouvette en béton avec fibres a crochets



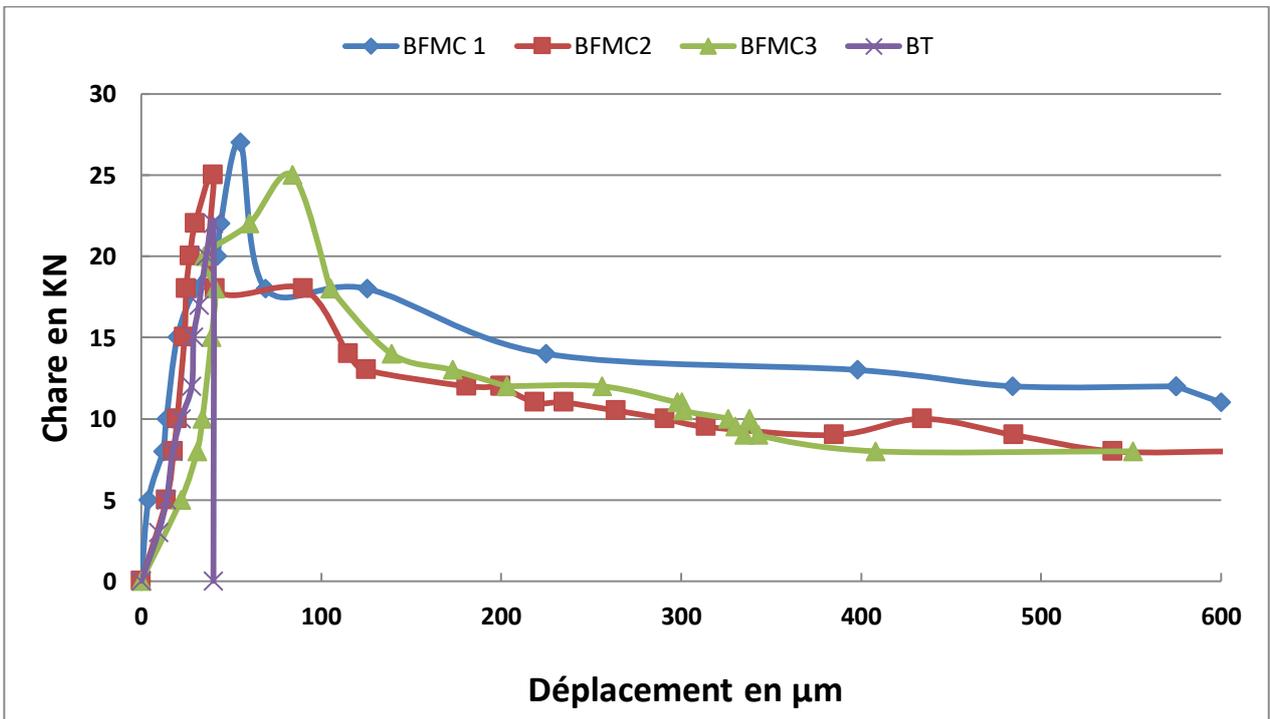
B/Agrondissement de la fissure sur l'éprouvette de béton avec fibres crochets



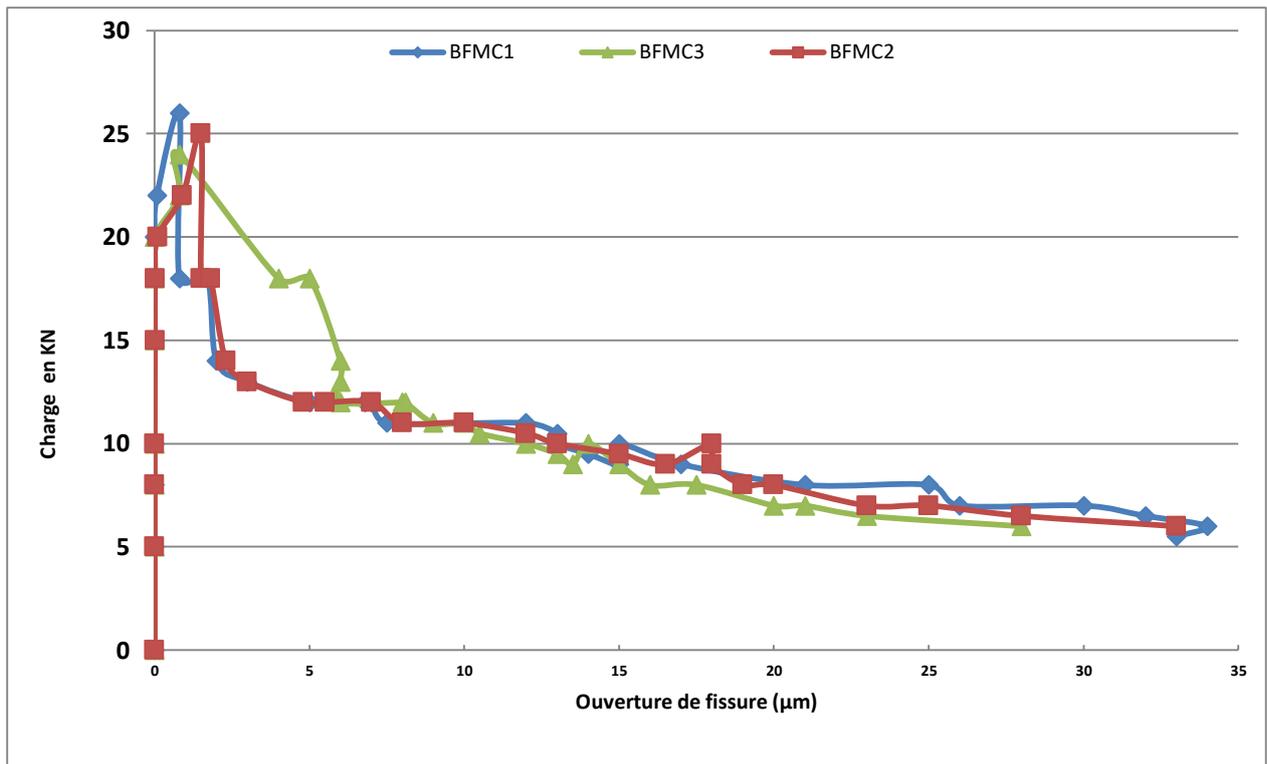


C/ Phase finale de rupture de l'éprouvette en béton avec déchaussement fibres crochets

**Figure III.9** les étapes de processus de fissurations de l'éprouvette en béton des fibres à crochets



**Figure III.10** Courbe charge-déplacement de l'éprouvette avec fibres crochets



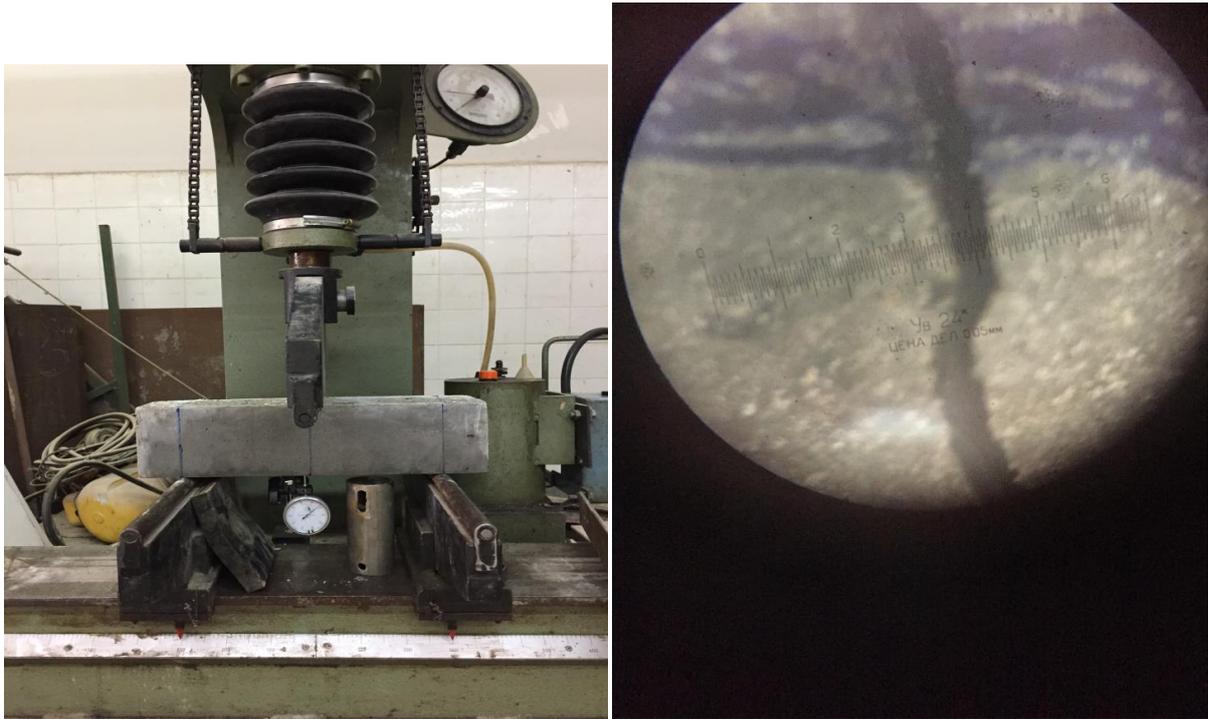
**Figure III.11** Courbe charge - ouverture de fissure de béton avec fibres crochets

### Interprétation

Les figures (10) et (11) présentent les courbes Charge-déplacement et Charge Ouverture de fissure avec fibre crochets. Les courbes comporte une première phase, élastique linéaire jusqu'à atteinte de l'effort maximal correspondant à l'apparition de la première fissure. Ces fibres illustrent le rôle des fibres dans l'amélioration du comportement mécanique du béton essentiellement en traction, et en s'opposant à la propagation des microfissures et l'ouverture des fissures formées. La géométrie et l'élanement ( $L/D=48$ ) des bétons fibre métallique forme crochets joue un rôle très important dans le comportement mécanique et ainsi sur processus de fissuration.

### III.3.4.3 Cas des éprouvettes en béton avec fibres ondulées

La déformation, la mode de fissuration et de la rupture des éprouvettes en béton avec fibres ondulées est illustrée par les figures suivantes :



**Figure III.12** Essai de traction par flexion de l'éprouvette avec fibres ondulée et apparaissions



**Figure III.14** Mode de rupture de l'éprouvette en béton avec fibres ondulées

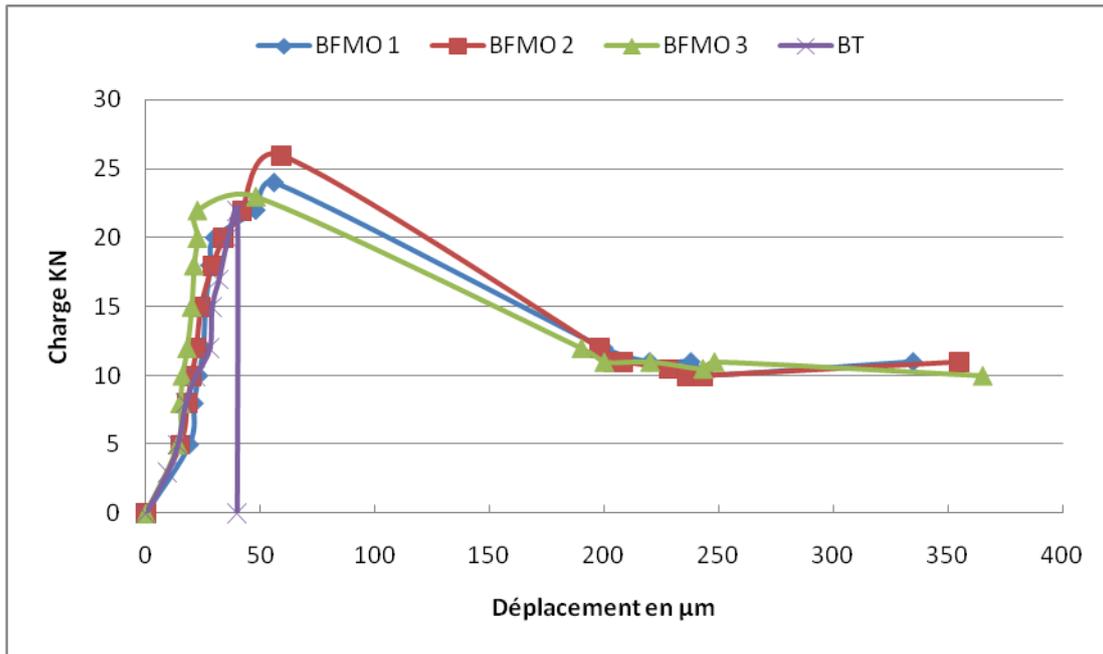


Figure III.15 Courbe charge-déplacement de béton avec fibres ondulées

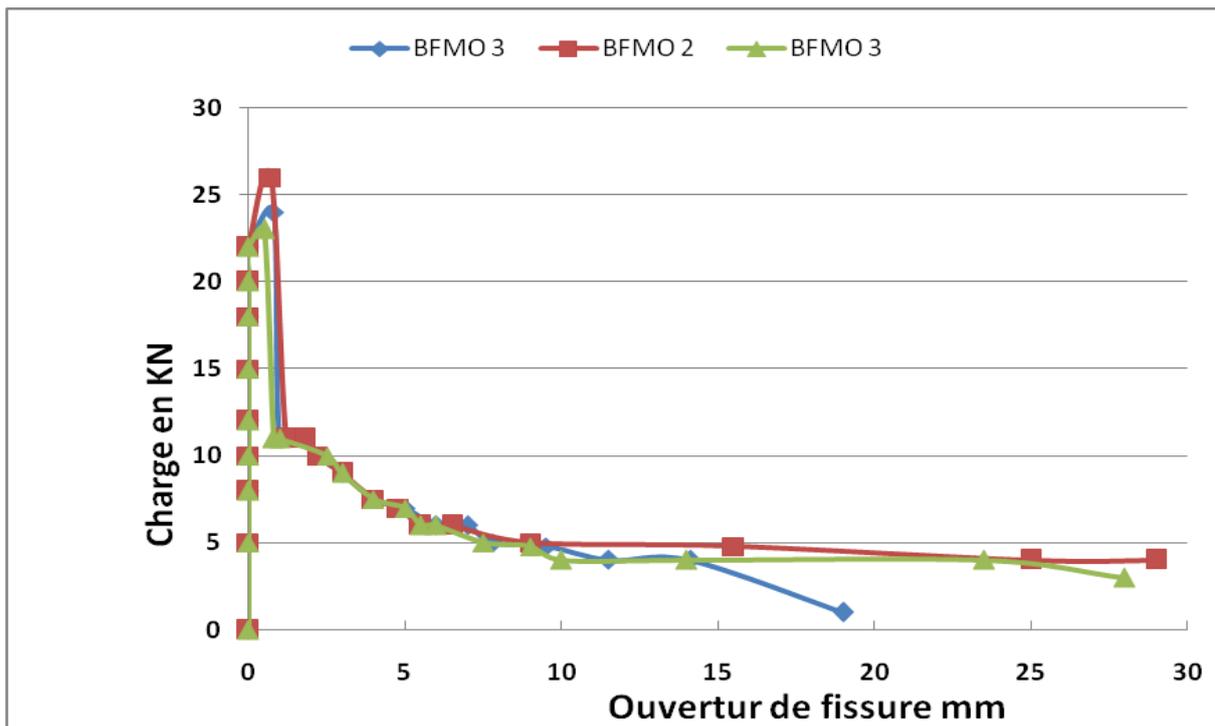


Figure III.16 Courbe charge-ouverture de fissure de béton avec fibres ondulées

### Interprétation

Les figures (15) et (16) présentent les courbes Charge-déplacement et Charge-Ouverture de fissure béton avec fibres ondulées. On constate que l'apport des fibres ondulées est légèrement moins important que celui des fibres crochet. Cela est dû au la

forme de l'extrémité de la fibre, l'élançement ( $L/D$ ) et le nombre de fibres. De même que pour les fibres crochet, on constate une amélioration du comportement avec l'incorporation des fibres métalliques de forme ondulée.

#### III.3.4.4 Cas des éprouvettes en béton avec mélanges de deux fibres

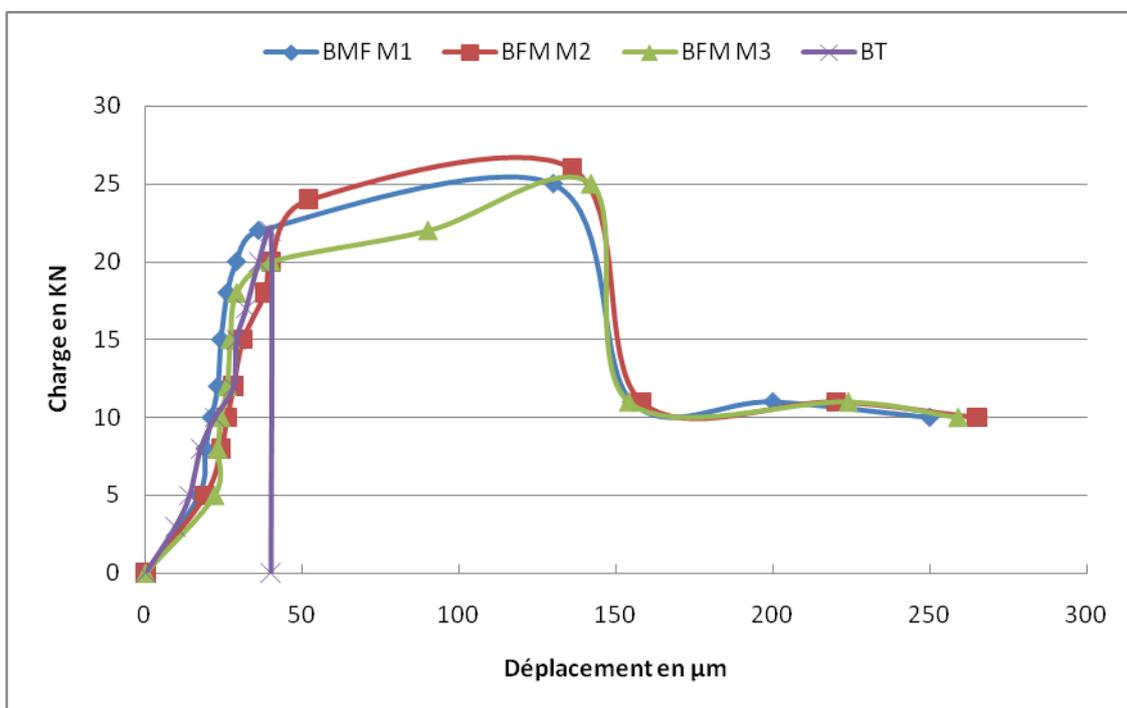
La déformation et le mode de fissuration et de rupture des éprouvettes en béton avec mélanges des fibres est illustres sur les figures suivantes :



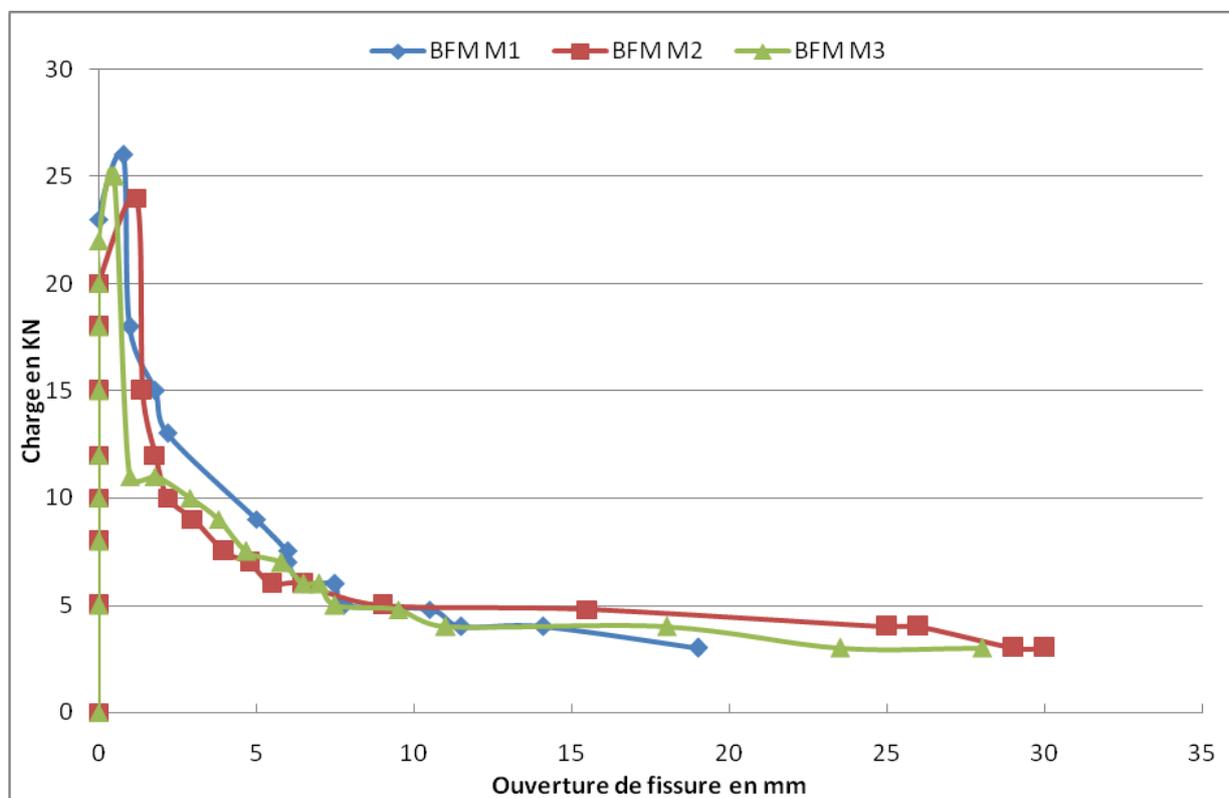
**Figure III.17** La première phase de l'éprouvette en béton avec mélanges des deux fibres



**Figure III.18** la phase finale de rupture de l'éprouvette en béton avec mélange des deux fibres



**Figure III.19** Courbe charge-déplacement de béton avec mélange des deux fibres

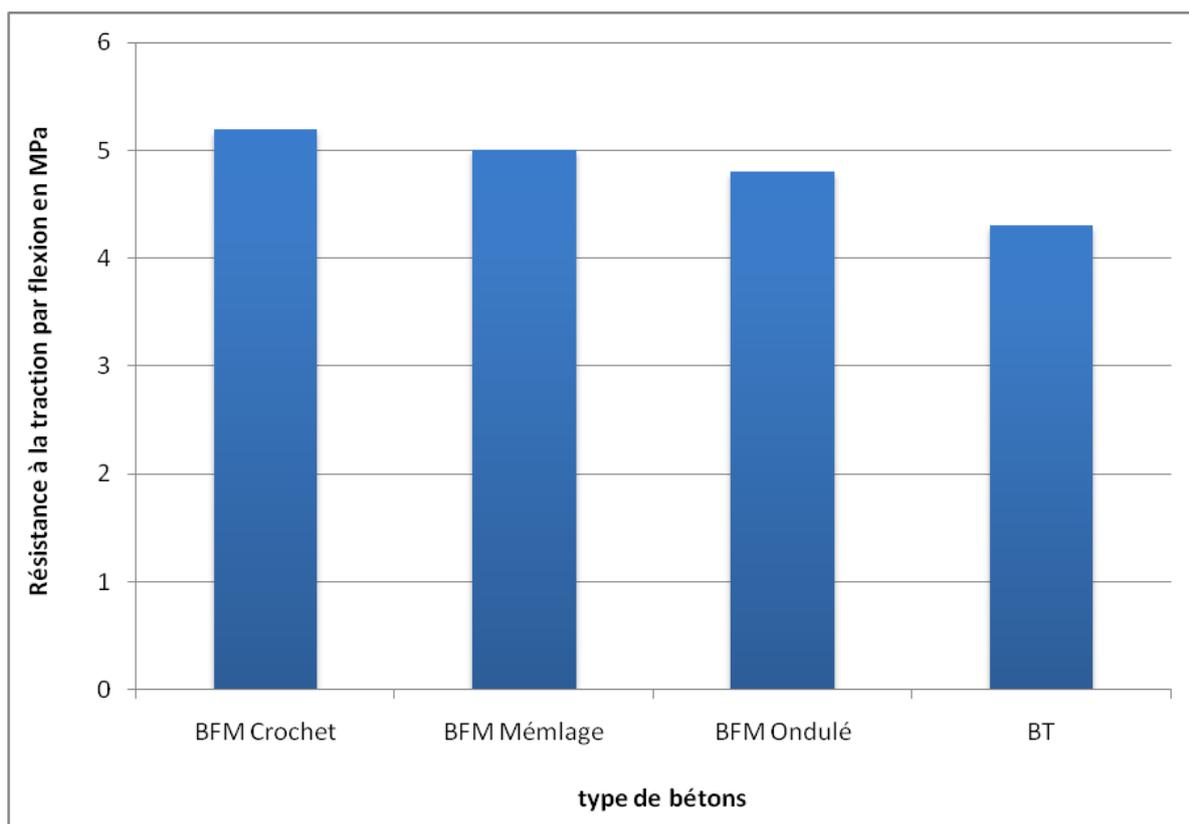


**Figure III.20** Courbe charge-ouverture de fissure de béton avec mélange des deux fibres

### Interprétation

Les figures (19) et (20) présentent les courbes Charge-déplacement et Charge-Ouverture de fissure de béton avec mélange des deux fibres. On constate que les bétons avec un mélange de deux de fibres métalliques (crochet + Ondulée) ont un comportement plus meilleur que celui avec fibres ondulées et moins que celui avec fibres de forme crochets en terme de la ductilité et de déformation par rapport . Cela est due aux caractéristiques géométrique et nombre de fibre introduit qui offrent un système d'accrochage plus performant donc une bonne adhérence fibres-matrice cimentaire.

### III.3.5.Résistance à la traction par flexion



**Figure III.21** Histogramme type de béton-résistance à la traction par flexion

## **Interprétation**

D'après la Figure (III.21), il est clair que l'addition des fibres métalliques a la composition du béton conduit à une augmentation de la résistance en traction par flexion pour l'ensemble des bétons d'étude avec différentes formes géométrique . Cette augmentation de la résistance est plus significative pour les fibres métalliques avec crochet. Cela est dû à la forme géométrique et l'élanement ( $L/D= 48$ ) qui donne un nombre de fibres plus élevé qui assure une bonne répartition, une bonne adhérence et un bon ancrage.

## **Conclusion du chapitre**

Le programme expérimental présenté dans ce chapitre nous a permis d'étudier le comportement mécanique du béton témoin et bétons fibrés en indiquant l'apport des fibres Métalliques et la forme géométrique sur les caractéristiques mécaniques des bétons fibrés. A la lumière des différents essais réalisés et les résultats obtenus les conclusions suivantes peuvent être tirées:

### **Sur la résistance en compression :**

–L'incorporation des fibres métalliques conduit à une légère augmentation ou une légère diminution de la résistance en compression selon la forme géométrique des fibres.

- Les fibres métalliques de forme crochet ont un bon mécanisme d'ancrage et d'adhérence par rapport aux autre fibres , ce qui permet d'avoir des résistances en compression relativement élevée.

### **Sur la résistance en traction par flexion :**

- La résistance en traction par flexion augmente avec l'introduction des fibres métalliques. Le comportement post fissuration est Significativement amélioré.

- Les fibres métalliques donnent une meilleure résistance en traction par flexion par apport au béton témoin.

- La forme géométrique des fibres métalliques garantie un bon mécanisme d'accrochage et d'adhérence.

# Conclusion Générale

## *Conclusion Générale*

L'objectif de la présente étude était d'approfondir la connaissance du comportement des bétons fibrés. L'étude porte sur l'influence de la géométrie des fibres et l'apport des fibres métalliques sur les propriétés à l'état frais et le comportement mécanique des bétons d'étude. Les résultats obtenus dans notre étude expérimentale on permet de tirer les conclusions suivantes:

- L'ajout des fibres métalliques confère au béton à l'état frais une cohésion, mais affecte la maniabilité et augmente la masse volumique. Ce qu'il faut prendre en considération lors de la formulation des BHP fibrés.
- L'ajout des fibres métalliques a un effet positif sur le comportement mécanique des bétons. Particulièrement, on peut citer l'amélioration simultanée des propriétés mécaniques et de la ductilité.
- l'utilisation de renforts de fibres métalliques présente une amélioration de la résistance mécanique illustrée par une augmentation considérable en traction par flexion.
- L'incorporation des fibres métallique conduit à une légère augmentation ou légère diminution de la résistance en compression selon la géométrie des fibre. Cela est dû au mécanisme d'accrochage et d'adhérence et d'orientation.
- La résistance en traction par flexion augmente avec l'introduction des fibres métalliques.
- Les bétons avec les fibres de forme crochet présente le meilleure comportement mécanique en terme de résistance en flexion et en terme du processus de déformation et de fissuration.
- Cette étude confirme le rôle des fibres dans l'amélioration du comportement mécanique du béton essentiellement en traction, et en s'opposant à la propagation des microfissures et l'ouverture des fissures formées et que les caractéristiques géométriques (forme et élancement  $L/D$ ) joue aussi un rôle primordial dans ce comportement.

# **Référence bibliographique**

[1] : Youcef Fritih, Apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'éléments en béton auto plaçant armé, Thèse de Doctorat de l'université de Toulouse, 08juillet 2009.

[2] : Patrick Guiraud, 'Les bétons fibrés : un vaste choix de solutions constructives' info ciments. Bétons fibrés 2018

[3] : Achoura Djamel, Cours béton innovants, béton fibrés.

[4] : <https://www.infociments.fr/betons/beton>

[#:~:text=Le%20b%C3%A9ton%20appartient%20%C3%A0%20la,que%20le%20mat%C3%A9riau%20est%20fragile.](#)

[5] <http://dSPACE.univmsila.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1694/371.pdf>.

[6] : Boukni Bariza, Tenue au feu des bétons auto plaçant, Mémoire de Magister Université Mentouri Constantine, décembre 2007.

[7] : M.Bentalha (influence de l'introduction de fibres métalliques sur le comportement différé d'une matrice cimentaire. Caractérisation – comportement monotone – Microstructure). Thèse de Doctorat d'état, Université Mentouri Constantine, Octobre ,2007 .

[8] : <http://thesis.univ-biskra.dz/2332/3/Chapitre%201%20.pdf>

[9] Boulekbache, B. Hamrat M. Chemrouk M. and Amziane S., 2010. Flowability of fibre-reinforced concrete and its effect on the mechanical properties of the material. Construction and Building Materials, 24(9), 1664-1671.

[10] Naaman, A.E., 2006. Fibre Reinforced Concrete- State of Progress at the Edge of the New Millennium, 9th Conference on Concrete Engineering and Technology (CONCET), Kuala Lumpur, Malaysia.

[11] : <https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/beton-fibre/>

[12] : Larouci Belkhir, Contribution à l'étude du comportement mécanique de béton des fibres métalliques (les copeaux de récupérations) Mémoire de Master 2 de l'université Ahmed Draia d'ADRAR, 25 mai 2017.

[11] : El Mersni Adel, Boulebnane, Etude expérimentale du comportement de poutres en béton arme et non arme renforcé de fibres métalliques ondulées soumises à la traction par flexion, Mémoire de Master 2 de l'université Badji Mokhtar d'ANNABA, 2019.

[12] : <http://thesis.univ-biskra.dz/2332/3/Chapitre%201%20.pdf>

[13] : Pascal Casanova, 'Bétons renforcés de fibres métalliques : du matériau à la structure. Thèse de doctorat, l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1995

[14] : Loucif Yassine, Guebailia Soufiane, Moumen Rida, Effet de la nature et dosage des fibres sur le comportement du béton a l'état frais et durci, Mémoire de Maser 2 de l'université Badji Mokhtar d'ANNABA, 2018.

[15] : TEBBAL Nadia, Effet de le nature des granulats sur les propriétés physicomécaniques et durabilité d'un béton à haute performance, Thèse Doctorat Université Mohamed Boudiaf – MSILA.

[16] Adel Kaïkea 'élaboration des bétons fibrés à haute performances avec addition du laitier granulé «comportement mécaniques et durabilité» thèse de doctorat. Université de Badji-Mokhtar Annaba 2015.

[18] Bencardino. F, Rizzuti. L, Spadea.G, Swamy. R.N, 2010, "*Experimental evaluation of fiber reinforced concrete fracture properties*", *Composites: Part B, Vol. 41, pp 17–24. 2010*