

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJE-BOUIRA



Faculté des Sciences et des sciences appliquées
Département Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

AMMARKHODJA WASSIM

BOUCHERIGUENE MASSINISSA

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** en :

Filière : **Génie Civil**

Option : Matériaux en Génie Civil

Thème :

**COMPORTEMENT DES
POUTRES EN BETON-BFM**

Devant le jury composé de :

M^{me} AIT AHMED

UAMOB / GENIE CIVIL

PRESIDENTE

Pr. AIT TAHAR. K

UAMOB / GENIE CIVIL

PROMOTEUR

Dr. BOUAMRA. Y

UAMOB / GENIE CIVIL

CO- PROMOTEUR

Dr. HAMI. B

UAMOB / GENIE CIVIL

EXAMINATEUR

Année Universitaire 2018/2019

RESUME

Malgré les différentes études réalisées de par le monde, les bétons renforcés de fibres métalliques, à ce jour, suscite l'intérêt de beaucoup de chercheurs, afin de diversifier les applications dans le domaine de la construction et de Génie civil. En grande partie, les études antérieures s'appuient sur des essais de structures effectués en flexion simple et à l'effort tranchant pour étudier les réponses mécaniques, les caractéristiques fondamentales des BFM, les mécanismes de rupture et de valider les modèles théoriques.

Dans ce travail de recherche, il a été mené une étude expérimentale et une modélisation analytique de la résistance à la traction par flexion des poutres armées de fibres métalliques, en considérant plusieurs hauteurs de la couche en BFM égales à 3, 6 et 8 cm respectivement, dans la zone tendue de la poutre de section transversale droite de $15 \times 15 \text{ cm}^2$.

Le but consiste à optimiser la conception des éléments de structure en BFM, en réduisant la quantité de fibres à incorporer dans la matrice béton (économie) en utilisant les fibres juste dans la zone susceptible d'assurer un seuil de résistance acceptable de l'élément prismatique soumis à un chargement de flexion 3-points. Des résultats très satisfaisants ont été obtenus en flexion, qui mettent en évidence l'influence de la hauteur de la zone tendue armée de fibres métalliques sur la résistance en flexion des poutres en béton et une modélisation a été développée à partir des mécanismes étudiés, en prenant comme données, les résultats des essais effectués.

Mots clés : Béton –fibres métalliques– poutres - Essais - Modélisation -analyses

ABSTRACT

Despite the different studies around the world, concrete reinforced with metal fibers is nowadays attracting the interest of many researchers, in order to diversify applications in the field of construction and civil engineering. For the most part, previous studies rely on simple bending and shear-effort structural tests to study mechanical behavior, fundamental characteristics of RCMF, rupture mechanisms and validate theoretical models.

In this research work, we are presenting the results of an experimental study and analytical modelling of the tensile stress of beams reinforced with metal fibers under 3-points bending load, considering several heights of the layer equal to 3, 6 and 8 cm respectively of the part of beam of the 15 x 15 cm² straight cross-section.

The goal is to optimize the design of the concrete structure elements reinforced with a metal fiber, reducing the amount of fibers to be incorporated into the concrete matrix (economy) by using the fibers in areas susceptible to cracking only, while ensuring a threshold of acceptable strength of the prismatic element subjected to a 3-point bending load. Very satisfactory results have been obtained in bending, which highlight the influence of the height's tensile area reinforced with metal fibers on the behavior particularly on bending strength of the concrete beams. Modelling was developed from the mechanisms studied, using the experimental results as data.

Keywords: Concrete - metal fibers - beams - tests - modelling - analysis

ملخص

على الرغم من الدراسات المختلفة التي أجريت في جميع أنحاء العالم، جذبت الخرسانة المسلحة بالألياف المعدنية، حتى الآن، اهتمام العديد من الباحثين، من أجل تنويع التطبيقات في مجال البناء والهندسة المدنية. في جزء كبير منه، اعتمدت الدراسات السابقة على الاختبارات الهيكلية لقوة الانحناء والقصر البسيطة لدراسة الاستجابات الميكانيكية، والخصائص الأساسية ل BFM، وآليات الكسر، والتحقق من صحة النماذج النظرية.

في هذا البحث، أجريت دراسة تجريبية ونموذجية تحليلية لقوة شد الانحناء للحزم المسلحة بالألياف المعدنية، مع مراعاة عدة ارتفاعات لطبقة BFM تساوي 3 و 6 و 8 سم على التوالي، في منطقة الشد من شعاع المقطع المستقيم $15 \times 15 \text{ cm}^2$

الهدف هو تحسين تصميم العناصر الهيكلية BFM، عن طريق تقليل كمية الألياف التي سيتم دمجها في المصفوفة الخرسانية (الاقتصاد) باستخدام الألياف فقط في المنطقة التي من المحتمل أن توفر عتبة مقاومة مقبولة للعنصر المنشورة تخضع لتحميل الانحناء 3 نقاط. تم الحصول على نتائج مرضية للغاية في الانحناء، مما يبرز تأثير ارتفاع منطقة الشد المسلحة بألياف معدنية على قوة الانحناء للأعمدة الخرسانية وتم تطوير نموذج من الآليات التي تمت دراستها، مع الأخذ بعين الاعتبار نتائج الاختبارات التي أجريت.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة - الألياف المعدنية - الحزم - الاختبارات - النموذجية - التحليلات

خرسانة الألياف المعدنية BFM

SOMMAIRE

Sommaire

RESUME	1
ABSTRACT.....	2
ملخص.....	3
Sommaire	5
LISTE DES FIGURES.....	7
LISTE DES TABLEAUX.....	9
INTRODUCTION GENERALE	10
I. Généralités sur les Bétons de fibres	14
I.1. Introduction.....	14
I.2. Béton armé de fibres	14
I.2.1. Définition et rôle des fibres	15
I.2.2. Comportement mécanique des bétons renforcés de fibres.....	18
I.3. Revue bibliographique	20
I.4. Conclusion du chapitre	22
II. Composition et élaboration des spécimens	24
II.1. Introduction	24
II.2. Formulation du béton et béton de fibres.....	24
II.2.1. Présentation des matériaux.....	24
II.2.2. Analyse granulométrique par tamisage	27
II.2.3. Dosage en ciment	31
II.2.4. Tracé de la courbe granulaire de référence	33
II.2.5. Tracé des lignes de partage	34
II.2.6. Coefficient de compacité.....	34
II.2.7. Dosage des granulats.....	36
II.3. Fabrication et préparation des éprouvettes	37
II.3.1. Types d'éprouvettes	37

II.3.2.	Essais mécaniques de flexion et de compression	38
II.4.	Variantes considérées	40
II.5.	Conclusion du chapitre	40
III.	Présentation des résultats et analyses	42
III.1.	Introduction	42
III.2.	Essais de traction par flexion.....	42
III.2.1.	Présentation du dispositif d'essai	42
III.3.	Présentation des résultats.....	43
III.4.	Modes de rupture	49
III.4.1.	Poutres en béton (Poutre témoin).....	49
III.4.2.	Poutres en béton de fibres	49
III.5.	Analyse des résultats et conclusion	50
IV.	Modélisation analytique	52
IV.1.	Introduction	52
IV.2.	Propriétés mécaniques	52
IV.2.1.	Comportement en traction	52
IV.2.2.	Comportement en compression.....	54
IV.3.	Approches de modélisation	54
IV.3.1.	Approche composite.....	54
IV.4.	Conclusion du chapitre	59
	CONCLUSION GENERALE.....	60
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	63

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Les relations contrainte – déformation des fibres de renforcement (G. Debicki 1987).....	16
FigureI-2 :Les fibres les plus utilisées dans le béton	17
FigureI-3 : Caractéristiques des fibres couramment utilisées [5].	19
FigureI-4 : Les facteurs influant sur le comportement d’un béton renforcé de fibres [6].	19
FigureI-5 : Contribution des fibres dans le comportement à la traction [7].....	20
FigureII-1 : Sable utilisé	24
FigureII-2 : Gravier utilisés.....	25
FigureII-3 : Eau de gâchage utilisés.....	25
FigureII-4 : Fibres métalliques utilisées.....	26
FigureII-5 : Caractéristiques géométriques et mécaniques des fibres	26
Figure II-6 : Série des tamis.....	28
Figure II-7 : Courbe granulométrique.....	30
Figure II-8 : Mesure de la masse volumique absolue.	30
Figure II-9 : Mesure de l’affaissement de cône d’Abrams.	31
Figure II-10 : Abaque permettant d’évaluer approximativement le dosage en ciment ‘C’ 32	
Figure II-11 : Dispositifs de rupture en : a) flexion, b) compression	39
Figure II-12 : Elaboration des éprouvettes : a) moules 15x15x60 cm; b)moules 4x4x16 cm; c)bétonnage; d) remplissage des moules; e) ajout des fibres lors du malaxage; f) couche en BAF; g) cure dans des bacs hygrométrique ; h) spécimens pour essais	39
Figure III-1 : Bâti de flexion.....	43
Figure III-2 : Histogramme des contraintes de rupture des spécimens.....	47
Figure III-3 : Histogramme des forces de rupture des spécimens	48
Figure III-4 : Résistance en flexion vs hauteur de la zone en BAF	48
Figure III-5 : Contrainte de rupture vs hauteur de la zone en BAF	48
Figure III-6 : Mode de rupture des poutres en béton (Poutre témoin).....	49

Figure III-7 : Mode de rupture des poutres en béton (témoin)	49
Figure IV-1 : Comportement des fibres métalliques.....	53
Figure IV-2 : Comparaison du comportement du béton armé de fibres métalliques par rapport au béton conventionnel.....	53
Figure IV-3 : Courbe contrainte-déformation dans le cas $\epsilon_{fu} < \epsilon_{mu}$	56
Figure IV-4 : Courbe contrainte-déformation dans le cas $\epsilon_{fu} > \epsilon_{mu}$	56
Figure IV-5 : Histogramme en barres des contraintes expérimentale et théorique.....	57
Figure IV-6 : Histogramme en barres des contraintes expérimentale et théorique.....	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : Les caractéristiques moyennes des fibres les plus utilisées	16
Tableau II-1 : Dimensions nominales des tamis.....	27
Tableau II-2 : Analyse granulométrique du sable 0/3.....	29
Tableau II-3 : Analyse granulométrique du sable 3/8.....	29
Tableau II-4 : Analyse granulométrique du gravier 8/15.....	29
Tableau II-5 : Consistance du béton	31
Tableau II-6 : Coefficient granulaire G en fonction de la qualité des granulats et de Dmax. [15]	32
Tableau II-7 : Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats. [15]	33
Tableau II-8 : Compacité du béton en fonction de Dmax, de la consistance et du serrage. [15]	35
Tableau II-9 : Composition d'un m ³ de béton.....	37
Tableau III-1 Valeurs moyennes des contraintes et forces	47
Tableau IV-1 : Comparaison des résistances théoriques et expérimentales en traction	57
Tableau IV-2 : Comparaison des résistances théoriques et expérimentales en flexion	58

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les recherches sur les bétons de fibres ont connu un réel développement à partir des années 60 grâce aux travaux de différents chercheurs.

Le béton est un matériau composite dont le comportement est fragile. L'introduction de fibres a pour objectif de compenser cette fragilité par couture des fissures. La propriété centrale des bétons de fibres est leur comportement en traction. En effet, toutes les études sur le béton de fibres s'accordent sur l'augmentation significative de la résistance en traction par flexion, tandis que la résistance de compression est peu influencée.

Le domaine d'application des bétons de fibres est restreint aux cas où existaient des problèmes technologiques qui rendaient l'emploi du béton armé coûteux ou aléatoire. Malgré un nombre important d'études et d'essais réalisés sur des éléments de structures porteurs, tels que les poutres, les colonnes, peu d'applications ont vu le jour.

Les principales applications sont : les dallages industriels, le béton projeté et les pieux forés ; Le béton projeté de fibres métalliques est donc, dans ce cas, une solution à la fois économique et de meilleure qualité.

En s'inspirant du principe de ferrailage du béton armé où il est recommandé de disposer les armatures dans la zone de traction la plus proche de la fibre la plus tendue de la poutre, nous nous sommes intéressés donc à étudier l'influence de la hauteur de la couche en béton de fibres sur la réponse globale de l'élément prismatique soumis à un chargement de flexion 3-points.

L'objectif recherché consiste à montrer la variation de la résistance en flexion , en fonction de la quantité de fibres utilisées, ce qui présente un intérêt économique certain.

C'est dans ce contexte que se situe ce travail dont l'objectif est d'analyser les résistances et les modes de rupture liés à l'emploi des bétons de fibres, dans le cas des éléments élémentaires qui sont les poutres.

Le mémoire débute par une introduction générale sur la thématique considérée et la structuration du mémoire de recherche.

Le premier chapitre présente un ensemble de généralités sur les fibres les plus utilisées dans le domaine de génie civil ainsi que leurs caractéristiques mécaniques, les comportements des bétons de fibres sous différentes sollicitations, les applications pratiques, qui ont permis de dresser l'état de l'art dans le domaine, une revue de littérature sur les travaux antérieurs portant sur les bétons armés de fibres métalliques est également présentée, où sont résumés quelques travaux expérimentaux réalisés par des chercheurs en formulant à chaque fois les paramètres considérés dans chaque recherche et les conclusions formulées.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons les matériaux utilisés dans cette étude, à savoir les constituants du béton et les fibres métalliques de type Dramix. La méthodologie suivie et la formulation du béton de fibres sont également présentées. Ainsi, les différentes étapes de réalisation (caractérisation des matériaux, l'analyse granulométrique, méthode de formulation, réalisation et conservation des éprouvettes) sont présentées.

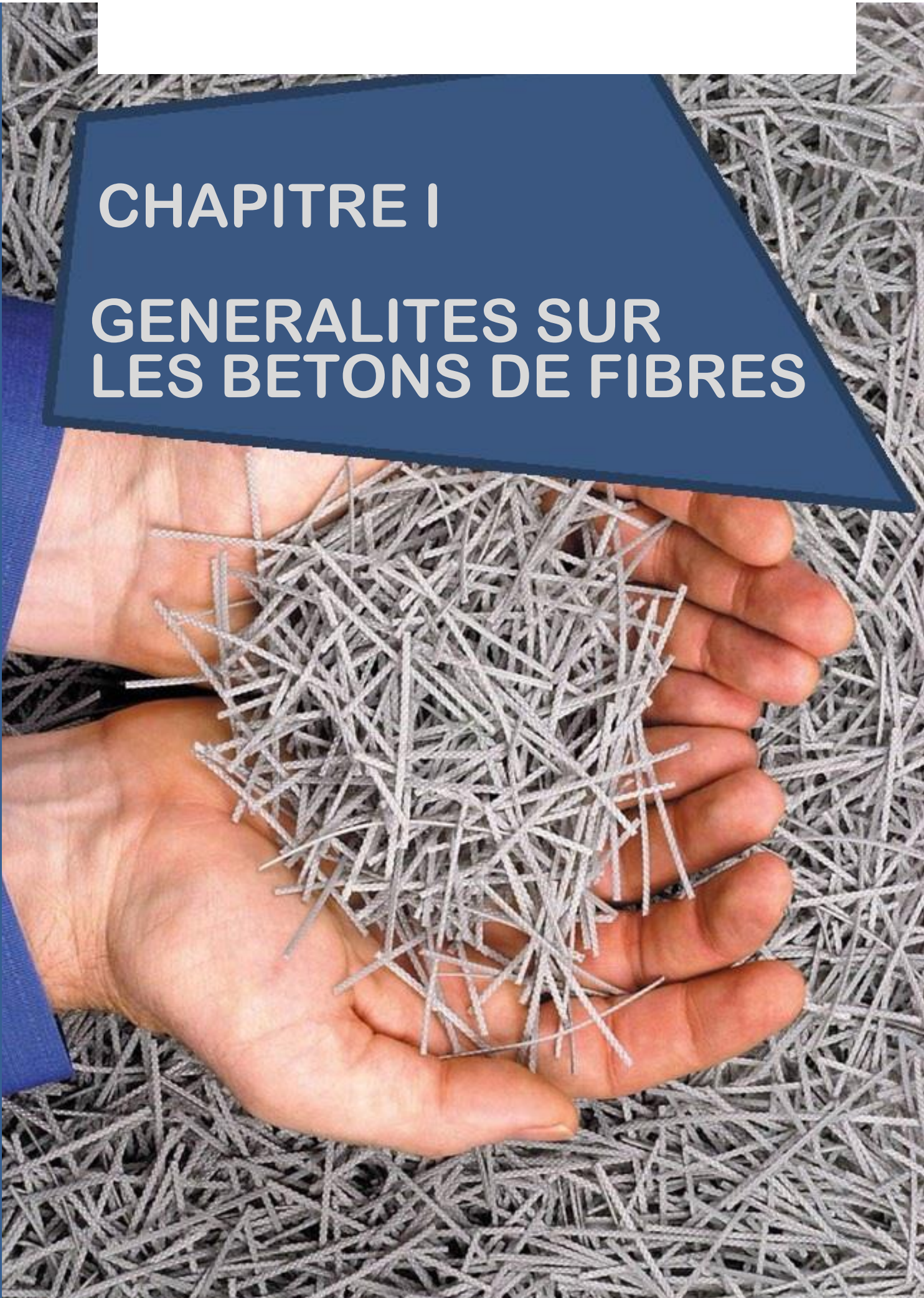
Le troisième chapitre a entièrement axé sur les essais mécaniques de compression et flexion des différentes éprouvettes réalisées. De différentes hauteurs de la couche en béton de fibres sont considérées pour montrer l'intérêt économique pour un seuil de résistance souhaitée. Tous les résultats sont présentés dans des tableaux et illustrés par des graphes et des histogrammes, où l'influence de la hauteur de la couche de béton de fibres sur la résistance de la poutre et les modes de rupture sont présentés et analysés.

Dans le quatrième chapitre, une modélisation analytique du comportement d'une poutre comportant une couche de béton de fibres est présentée. Des approches de modélisation des composites sont traitées,

Enfin, ce travail est ponctué par une conclusion générale où sont formulées les principales constatations et rappelés les principaux résultats obtenus dans ce travail de recherche

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES BETONS DE FIBRES



I. Généralités sur les Bétons de fibres

I.1. Introduction

Les bétons de fibres sont des bétons armés de fibres courtes discontinues incorporées en petite quantité d'une manière aléatoire par inclusion directe lors du gâchage des constituants du béton ou par projection. Le comportement d'une fibre est indissociable de celui de la matrice. Il est donc impératif de raisonner en terme de couple fibre – matrice.

L'intérêt des bétons de fibres réside dans leur facilité de mise en œuvre, d'où un gain de temps, par rapport à une solution traditionnelle et leurs performances mécaniques intéressantes comparativement au béton ordinaire.

Dans ce chapitre, nous présenterons une synthèse bibliographique sur les bétons de fibres, les types d'ouvrages en béton fibré, les propriétés physiques majeures liées à l'utilisation de fibres et les avantages du béton fibré et une revue des travaux de recherche réalisés par quelques auteurs.

I.2. Béton armé de fibres

Le concept de l'utilisation de fibres pour améliorer le comportement des matériaux fragiles tels que le béton conventionnel est connu depuis fort longtemps ; les premières applications ont porté sur les briques en terre armée de pailles , le ciment renforcé de fibres d'amiante, le plâtre armé de filasse ...

Les premières applications industrielles de la technologie du béton armé de fibres a vu le jour aux états unis et depuis 1960, une période d'expérimentation soutenue a été conduite par plusieurs chercheurs dans le domaine. Actuellement, les bétons de fibres sont de plus en plus utilisés dans diverses applications du Génie Civil.

P. Casanova [1] a rappelé dans sa thèse qu'en 1910 H.F .Porter (états unis) indiqua que l'introduction des clous dans le béton permet d'améliorer les propriétés physiques considérablement. En 1991 W. Ficklin a montré que l'introduction des copeaux métalliques permet d'avoir un béton résistant à la fissuration et à l'usure.

On peut situer la naissance des bétons de fibres métalliques au début des années 60. Après les travaux de Romualdi sur l'arrêt de la propagation des fissures dans une matrice fragile par des fibres réparties, beaucoup de chercheurs par la suite se sont

intéressés au BFM, en particulier au fonctionnement des fibres et leur interaction avec la matrice cimentaire [1].

Le béton de fibres n'est pas un substitut au béton ordinaire, c'est un matériau de type différent.

Aujourd'hui, des fibres de natures, de dimensions et de formes diverses sont proposées sur le marché, regroupées en deux grandes catégories, selon leurs propriétés mécaniques : Les fibres organiques et les fibres non organiques. Grâce au développement technologique, des fibres de géométries et de nature plus performantes sont développées par les industriels, sachant que les propriétés des BFM dépendent directement de la nature des fibres, leurs caractéristiques mécaniques, la fraction volumique des fibres à introduire dans le béton (dosage), l'orientation des fibres, la qualité de la matrice cimentaire.

L'ajout de fibres métalliques au niveau de la matrice cimentaire améliore le comportement post fissuration du béton soumis à un effort de traction [2].

Le béton de fibres est considéré comme un matériau composite homogène à base de ciment hydraulique, agrégats (sable et graviers) et des fibres de forme et de nature minéralogique et de dimensions diverses. En pratique, la matrice cimentaire est différente de celle du béton ordinaire , les teneurs en ciment sont ordinairement plus élevées pour le béton de fibres (BAF). Pour améliorer l'ouvrabilité et réduire la teneur en eau, des cendres volantes peuvent être utilisées en remplacement d'une partie du ciment portland, par exemple 50 à 100 Kg/m³ de ciment (Venuat M.1974) et le rapport E/C varie de 0,41 à 0,48.

I.2.1. Définition et rôle des fibres

L'ajout de fibres dans le béton, permet d'augmenter les résistances à la traction par flexion, à la torsion et en cisaillement, la résistance aux impacts et à la fatigue ainsi que la ductilité du béton, c'est-à-dire ses caractéristiques en post fissuration. Les bétons armés de fibres ont la capacité de continuer à supporter des charges après la formation de fissures.

Les propriétés mécaniques, telles que la résistance mécanique, souplesse, probablement la plasticité, déformation à rupture, coefficient de dilatation et adhésion plus ou moins importante à la pâte de ciment et neutralité vis à vis du milieu. Les caractéristiques moyennes des fibres les plus utilisées sont données dans le Tableau I.1 et les relations contrainte– déformation des différents types de fibres sont illustrées par la figure I.1..

Tableau I-1 : Les caractéristiques moyennes des fibres les plus utilisées

Fibres	Diamètre (mm)	Longueur	Masse volumique (Kg/cm ³)	Résistance traction (Mpa)	Module E (Mpa)	Allongement (%)	Coefficient de dilatation 10 ⁻⁶ °C ⁻¹	R au feu (°C)
Amiante (chrysolite)	0.0002 à 0.002	5 à 20	2.6 à 3	300 à 1000	80 000 à 150 000	2 à 3		1500
Polypropylène	0.01 à 0.1	25 à 75	0.9	400 à 600	4000 à 8000	15 à 20	90	150
Verre (au zirconium)	0.006 à 0.020	40 à 70	2.6	1500 à 3000	80 000	2 à 3	9	600
Acier	0.2 à 0.5	20 à 50	7.9	1000 à 3000	200 000	3 à 4	11	1500
Carbone	0.005 à 0.01	Variable	2	2000	400 000	0.5	1	400 à 1500
Fonte amorphe	30 à 60 x 0.03 x 1	30 à 60	7.2	2500	130 000	2		300
Aramide	0.012	10	1.4	2800	80 000	4.2	-2	300

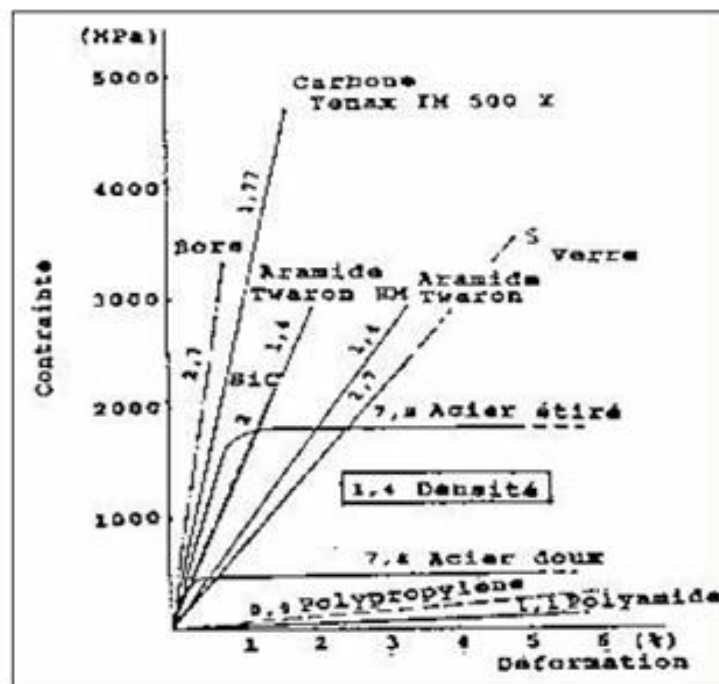


Figure I-1 : Les relations contrainte – déformation des fibres de renforcement (G. Debicki 1987)

Parmi les fibres les plus utilisées dans le domaine du béton, on peut citer :

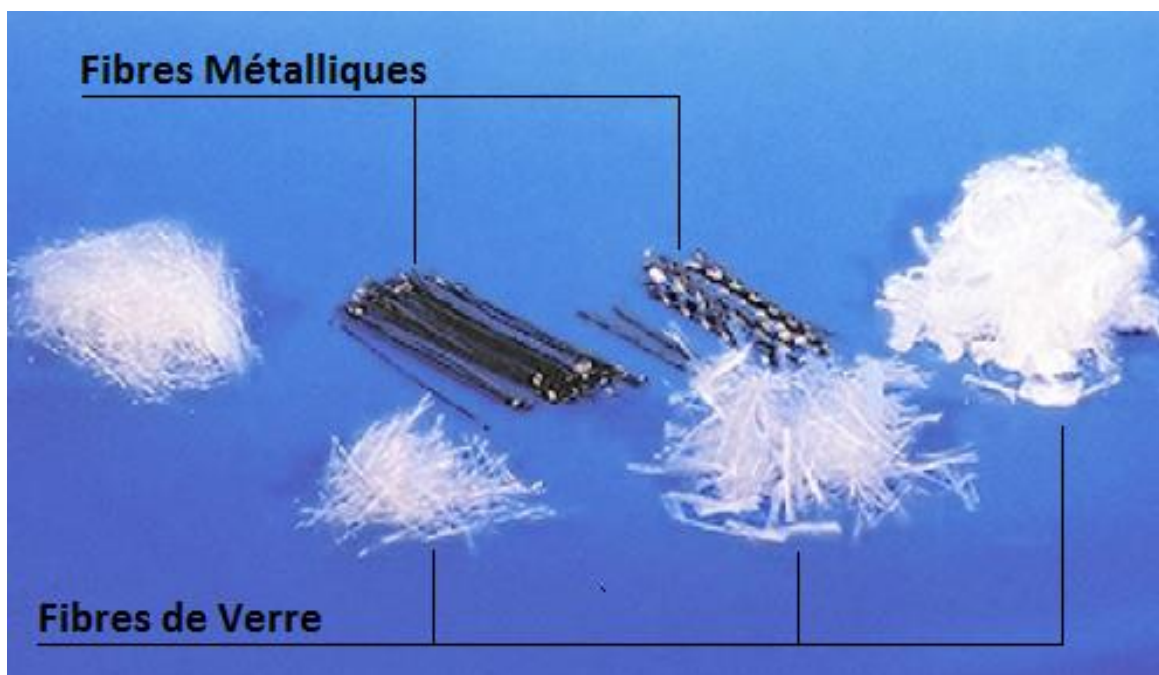
- les fibres métalliques, les fibres de verre, les fibres de carbone, et les fibres synthétiques, en particulier le polypropylène.

Notons que les fibres organiques ne sont pas utilisées pour renforcer le béton, vu que leurs caractéristiques mécaniques sont inférieures à celles du béton. Elles sont par contre mieux adaptées pour le renforcement des sols, notamment dans le corps des chaussées.

Les caractéristiques principales de ces fils de polypropylène sont les suivantes :

- Diamètre de 0.01 à 0.2 mm.
- Longueur : 25 à 75 mm.
- Masse volumique : 0.9 Kg/dm³.
- Résistance en traction : 400 à 8000 Mpa.
- Module d'élasticité : 4000 à 8000 Mpa.
- Coefficient de dilatation thermique : 90 $\mu\text{m}/\text{m}/^\circ\text{C}$

Enfin, Les fibres non organiques ont une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé, comparativement à la matrice.



FigureI-2 :Les fibres les plus utilisées dans le béton

Les principales fibres utilisées pour renforcer les mortiers et les bétons sont les fibres métalliques. Les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par l'interface fibre - matrice. Pour améliorer cette interface, les fabricants des fibres d'acier ont réalisé des fibres avec des irrégularités de la surface, ceci a donné naissance à une variété de fibres qui se différencient les unes des autres par leurs diamètres, leurs sections (ronde, carrée, rectangulaire), leurs longueurs 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 [3].

Les fibres métalliques sont classées en deux catégories :






- Les fibres de forme plate, ayant une surface spécifique importante confèrent au béton de fibres une résistance élevée par adhérence. Elles sont peu ductiles. Leur principal apport consiste à limiter l'ouverture des fissures ;
- L'apport des fibres de forme cylindrique en acier tréfilé, ayant un comportement ductile est obtenu par ancrage assuré par des crochets aux extrémités de la fibre ou par la forme ondulée de la fibre. Ces fibres confèrent une bonne ductilité au béton car elles ont une capacité de reprise d'efforts importante lorsque les fissures sont assez ouvertes. Les fibres couramment usitées sont données dans la figure I.3

L'addition de fibres permet de réduire l'ouverture des fissures et leur développement grâce à la formation d'une multitude de très fines fissures, on obtient alors une densification des fissures au lieu d'une fissure magistrale qui peut donner naissance à un plan de rupture prématuré. . Lorsqu'une première fissuration se forme dans le béton, alors la transmission des tensions et des forces dans la zone fissurée est assurée par les fibres.

I.2.2. Comportement mécanique des bétons renforcés de fibres

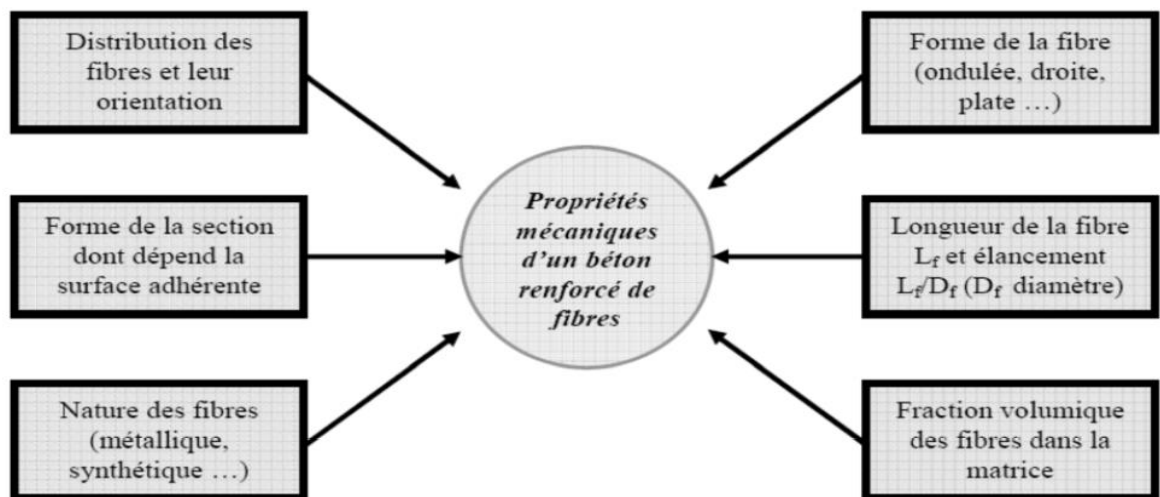
Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer le béton et améliorer le comportement du béton essentiellement en traction, et en s'opposant à la propagation des microfissures. Les fibres interviennent particulièrement dans la phase post-fissuration assumant un transfert des contraintes à travers la discontinuité du champ des déplacements. Avant fissuration, les fibres n'ont aucune ou peu d'influence sur le comportement mécanique, que ce soit à la compression ou à la traction. Une fois la fissure ouverte, les fibres par leur action directe stoppent la propagation de la fissure [4].

La Figure I.4 illustre les différents facteurs influant sur le comportement d'un béton armé de fibres et la Figure I.5 montre le comportement global d'une éprouvette en béton fibré soumise à la traction directe.

Type de fibre	Forme/ géométrie	Matière constituante	R_t $\times 10^2$ [MPa]	E $\times 10^5$ [MPa]	L [mm]	l [mm]	D [mm]	e [mm]
Bekaert Dramix ZC50/50		Fil d'acier étiré à froid	11	2	50	.....	0,5	.....
Eurosteel 50/80 60/100		Acier tréfilé à moins de 0.15% C	14	2	50 60		0,8 à 1	....
Twincon E à 2 têtes		Acier tréfilé	12	2	54	.....	1	.....
Pont à Mousson		Fonte amorphe à 5% de Cr	20	1,4	60	1,5 à 2	.....	0,03
Harex		Obtenues par le fraisage de blocs d'acier.	7	2	32	2	.....	0,25

FigureI-3 : Caractéristiques des fibres couramment utilisées [5].

R_t : résistance à la traction du matériau de la fibre, E : module d'élasticité à la traction du matériau de la fibre, L : Longueur, l : Largeur, D : Diamètre, e : Epaisseur.



FigureI-4 : Les facteurs influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres [6].

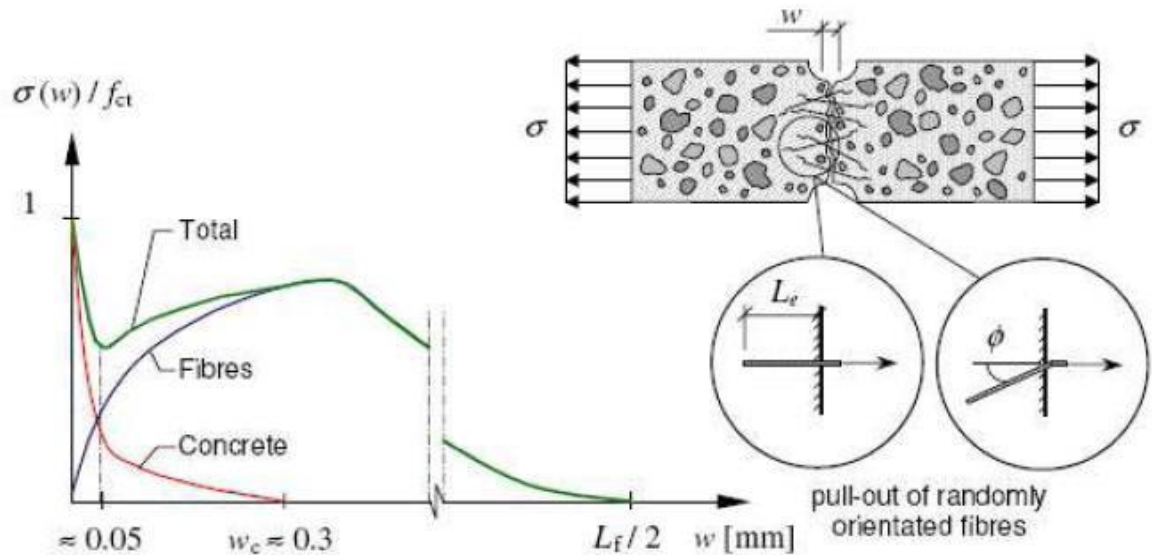


Figure I-5 : Contribution des fibres dans le comportement à la traction [7].

I.3. Revue bibliographique

Dans cette partie, nous présentons une synthèse de quelques travaux réalisés par différents auteurs, sur les bétons de fibres.

- J.Porter [8] , en 1910 a proposé d'incorporer les fibres métalliques dans le béton afin d'améliorer les performances mécaniques., en particulier la résistance à la traction par flexion du béton et de contrôler la fissuration.
- Romualdi et Baston [9] ont déposés un brevet sur les bétons de fibres. Leurs travaux ont porté sur l'arrêt de la propagation des fissures dans une matrice fragiles en utilisant des fibres réparties.
- Ait tahar K [10] a étudié expérimentalement le comportement des poutres combinées en bétons de fibres. Les résultats obtenus ont permis de conclure que la résistance à la traction par flexion augmente avec l'augmentation du pourcentage de fibres incorporés dans le béton.
- Zhan [11] dans son étude a montré que l'effort qui provoque l'apparition de la première fissure peut être augmenté de 40-50%
- Setti F et al [12] ont étudié l'effet des fibres métalliques sur certaines propriétés mécaniques du béton renforcé de fibres. Les résultats ont permis de conclure que la résistance à la flexion du béton augmente en fonction du temps, et l'ajout de fibres d'acier engendre une nette amélioration de cette résistance qui double de valeur en

présence de 1.5% de fibres et les fibres réduisent l'abrasion et améliorent la cohérence de la matrice. Le pourcentage optimal de fibres pour réduire l'effet d'abrasion est de 1 %, au-delà de 1 % de volume de fibres, l'effet de la présence des fibres dans un béton réduit les performances du béton.

- Houari [13], après des essais de flexion, trouve que l'ajout de 1% de fibres métalliques a fait augmenter fortement la résistance à la flexion, concorde avec d'autres résultats ;
- LAROUCI B. [14] a étudié l'influence des fibres métalliques d'origine des copeaux (déchets) sur le comportement mécanique du béton (résistance à la compression et à la traction), ces fibres provenant des déchets métalliques industriels (copeaux des pipes de transport d'hydrocarbures par canalisation). L'ensemble des résultats obtenus à la compression, à la traction par flexion et à la traction par fendage montrent qu'une fraction optimale des fibres métalliques égale à 1.6% permet d'augmenter de 15 % la contrainte de compression et de 28 % la contrainte de traction. Pour un pourcentage optimal de 1.6 % montre que l'utilisation de ces fibres permet d'avoir un comportement idem aux fibres normalisées
- P. Casanova [2] a mené une étude complète du matériau à la structure. Cette étude, à la fois expérimentale et théorique, a permis de définir des méthodes de calcul qui, couplées à une démarche globale de la composition à la caractérisation, en passant par la fabrication, permettent d'optimiser la conception des éléments de structure en BFM. Des résultats satisfaisants ont été obtenus en élastoplasticité et qu'actuellement, on dispose d'outils rationnels dans les domaines de la formulation, de la caractérisation mécanique et du dimensionnement des BFM qui permettent de mettre en œuvre une démarche globale d'optimisation de la conception d'un élément de structure en BFM.

I.4. Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre nous avons présentés une synthèse bibliographique succincte sur le matériau béton de fibres BFM. Tous les travaux antérieurs portant sur l'incorporation des fibres métalliques dans une matrice béton ont mis en évidence l'effet d'ajout de fibres métalliques sur les propriétés mécaniques du béton, notamment la résistance à la traction par flexion et la ductilité .

L'introduction des fibres est un moyen d'améliorer certaines propriétés du béton y compris la résistance à l'abrasion. Les fibres métalliques ont pour rôles d'absorber et dissiper l'énergie, de contrôler la fissuration et sa propagation. L'analyse critique de la revue littéraire des différents travaux de recherches, nous a conduits à s'intéresser à étudier l'influence de la hauteur de la couche tendue en BFM de l'élément prismatique sur la résistance à la traction par flexion.

CHAPITRE II

COMPOSITION ET ELABORATION DES SPECIMENS



II. Composition et élaboration des spécimens

II.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des matériaux considérés dans cette étude, à savoir le béton et les fibres métalliques. La caractérisation expérimentale et la réalisation des éprouvettes sont effectuées au niveau de laboratoire du département de Génie civil de l'université de Bouira. La formulation du béton de fibres consiste en la détermination de la composition optimale de la matrice de béton ordinaire et la fraction volumique des fibres. La présence des fibres dans un béton nécessite une matrice riche en éléments fins pour bien les enrober et pour aussi une meilleure maniabilité. Toutes les différentes étapes de réalisation des spécimens sont résumées et présentées, en particulier, la caractérisation des matériaux, la formulation et composition du béton et la confection des différentes variantes des éprouvettes pour les essais destructifs de compression et de flexion.

II.2. Formulation du béton et béton de fibres

II.2.1. Présentation des matériaux

L'étude de la composition de béton consiste à définir le mélange optimal de ces différents constituants (sable, graviers, ciment, eau). Pour la confection d'un béton ; il est impératif de connaître les caractéristiques des matériaux le constituant, définies par des essais standard sur des éprouvettes de dimensions normalisées, selon les normes requises.

- **Ciment :**

Le ciment utilisé est de type **CPJ CEM II / 42,5R** provenant de Groupe GICA d'Alger.

- **Sable :**

Le sable utilisé est un sable concassé issu de carrière de diamètre qui varie de 0 à 3 mm.



FigureII-1 : Sable utilisé

- **Gravier :**

Les granulats concassés de diamètre variant de 3 à 16 mm sont utilisés pour la confection de notre béton.



FigureII-2 : Graviers utilisés

- **Eau de gâchage**

L'eau de gâchage ne doit contenir aucun composant qui risque d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures. L'eau utilisée est l'eau propre du robinet.



FigureII-3 : Eau de gâchage utilisés

- **Fibres métalliques**

Actuellement sur le marché, on peut trouver plusieurs type et forme de fibres, mais les fibres les plus utilisées dans le béton sont les fibres de polymères et plus particulièrement les fibres métalliques. Les fibres se présentent sous diverses formes et dimensions. Elles sont classées par famille selon la nature, la résistance et la forme. Les fibres métalliques ont de bonnes caractéristiques mécaniques et une bonne compatibilité avec le matériau béton. la fraction volumique recommandée par divers chercheurs varie de 0,5 à 2% soit 5 à 150 Kg/m³ de béton.

Le mélange des fibres métallique avec la matrice béton doit se faire de sorte à éviter la formation des pelotes qui peuvent constituer des zones de concentration des contraintes et affaiblir ainsi la résistance de l'élément. L'incorporation des fibres peut se faire en cours du malaxage en petites quantité soit au moment du coulage par projection. Dans notre cas, les fibres ont été ajoutées au béton lors du malaxage.

Le rôle principal des fibres est la réduction de l'ouverture des fissures, en les cousant et l'amélioration des résistances à la traction, à la fatigue et aux chocs.

L'incorporation des fibres dans le béton permet de contrôler la propagation des fissures et retarde la formation du plan de rupture.

En général, le comportement des poutres en flexion est conditionné par la fissuration de la zone tendue. La présence des fibres permet à la poutre de reprendre les efforts après que la charge maximale est atteinte par l'effet de goujons.

Les fibres métalliques utilisées dans notre étude sont illustrées par la figure II.4 et les caractéristiques géométriques et mécaniques sont données par la figure II.5.



FigureII-4 : Fibres métalliques utilisées

- Informations et caractéristiques normalisées:	
Forme	crochets
Collage	encollées
Revêtement	
Longueur (mm)	30
Diamètre (mm)	0,53
Résistance en traction (N/mm ²)	13-65
Elancement (L/D)	55

- Consistance avec 25 kg/m³ - temps Vobe = 8 sec
 - Résistance sur béton de référence: 25 kg/m³
 pour obtenir > 1,5 N/mm² à CMOD= 0,5 mm et > 1,0 N/mm² à CMOD= 3,5 mm

FigureII-5 : Caractéristiques géométriques et mécaniques des fibres

II.2.2. Analyse granulométrique par tamisage

L'analyse granulométrique sert à déterminer la distribution en poids des particules d'un matériau suivant leurs dimensions. Pour déterminer les proportions des constituants du béton, on doit réaliser en premier lieu une analyse granulométrique puis on choisira une méthode de composition de béton parmi celles proposées par des spécialistes tels que Bolomey, Faury, Dreux-Gorisse, ...etc.

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

Les dimensions des mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue. La dimension nominale des tamis est donnée par l'ouverture de la maille, c'est-à-dire par la grandeur de l'ouverture carrée. Ces dimensions sont telles qu'elles se suivent dans une progression géométrique de raison 1.259 (Voir Tableau II.1), depuis le tamis 0,063 mm jusqu'au tamis 125 mm. Les matériaux utilisés (sable 0/3 et Les graviers 3/8 et 8/15) ont été tamisés en utilisant des dimensions normalisées des tamis conformément à la norme (NF P 18-560) :

Tableau II-1 : Dimensions nominales des tamis.

Module	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Tamis (mm)	0.063	0.08	0.10	0.125	0.160	0.200	0.250	0.315	0.400	0.500	0.630
Module	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Tamis (mm)	0.800	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.300	8.00
Module	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	/
Tamis (mm)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	/



Figure II-6 : Série des tamis

a) Mode opératoire

Les granulats utilisés ont été séchés pendant 72 heures à l'air libre. On emboîte les tamis les uns sur les autres dans un ordre décroissant du front de la colonne vers le bas. Un fond étanche disposé à la partie inférieure, permet de récupérer les fillers. Les tamis une fois emboîtés sont fermés par un couvercle afin d'interdire toute perte de matériau pendant le tamisage. Par définition, on appelle tamisât le poids du matériau passant à travers un tamis donné et refus le poids du matériau retenu.

Le matériau étudié est versé en haut de la colonne de tamis et celle-ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique. Le tamisage est terminé lorsque le refus ne varie plus. On détermine par pesée le tamisât et le refus dans tous les tamis pris dans l'ordre décroissant des ouvertures. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés R_n 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 II.2, II.3 et II.4 .

Tableau II-2 : Analyse granulométrique du sable 0/3

ϕ Tamis	Refus Partiel (g)	Refus Cumulé (g)	Refus Cumulé (%)
5	7	7	0.35
4	37	44	2.2
3.15	99	143	7.15
2	485	601	30.05
1	580	1181	59.05
0.5	386	1567	78.35
0.25	363	1930	96.5
0.125	61	1991	99.55
0.08	6	1997	99.85
Fond de tamis		1997	/

Tableau II-3 : Analyse granulométrique du sable 3/8

ϕ Tamis	Refus Partiel (g)	Refus Cumulé (g)	Refus Cumulé (%)
10	30	30	1.5
8	29	59	2.95
6.3	341	400	20
5	602	1002	50.1
4	515	1517	75.85
3.15	163	1680	84
2	205	1885	94.25
Fond de tamis	113	1998	99.9

Tableau II-4 : Analyse granulométrique du gravier 8/15

ϕ Tamis	Refus Partiel(g)	Refus Cumulé(g)	Refus Cumulé(%)
16	85	85	4.25
14	158	243	12.15
12.5	231	474	23.7
10	603	1077	53.85
8	542	1619	80.95
6.3	298	1917	95.85
Fond de tamis	82	1999	99.95

Les valeurs des tamisâts données dans les tableaux II.2 ,II.3 et II.4 nous permettent de tracer les courbes granulométriques de chaque granulat illustrée par la figure II.7.

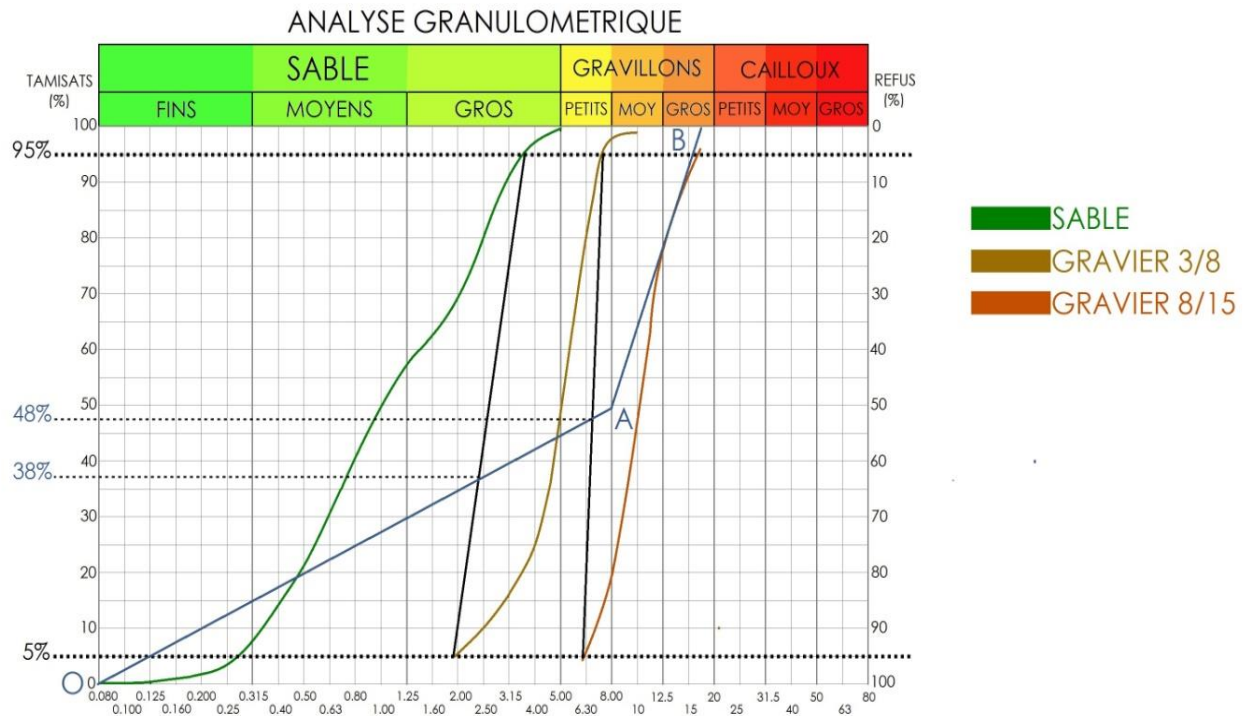


Figure II-7 : Courbe granulométrique

b) Masse volumique absolue

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule, pores à l'intérieur des grains exclus), après passage à l'étuve à 105 °C, selon la norme (NF P 18-555). La méthode utilisée est celle de l'éprouvette graduée.



Figure II-8 : Mesure de la masse volumique absolue.

Tableau II-5 : Consistance du béton

Consistance du béton	Affaissement au cône (cm)	Serrage nécessaire
Très ferme	≤ 2	Vibration nécessaire
Ferme	3 à 5	Bonne vibration
Plastique	6 à 9	Vibration normale
Très plastique	10 à 15	Simple piquage
Fluide	> 16	Léger piquage

NB : L'ouvrabilité désirée est caractérisée par un affaissement au cône $A = 7$ cm

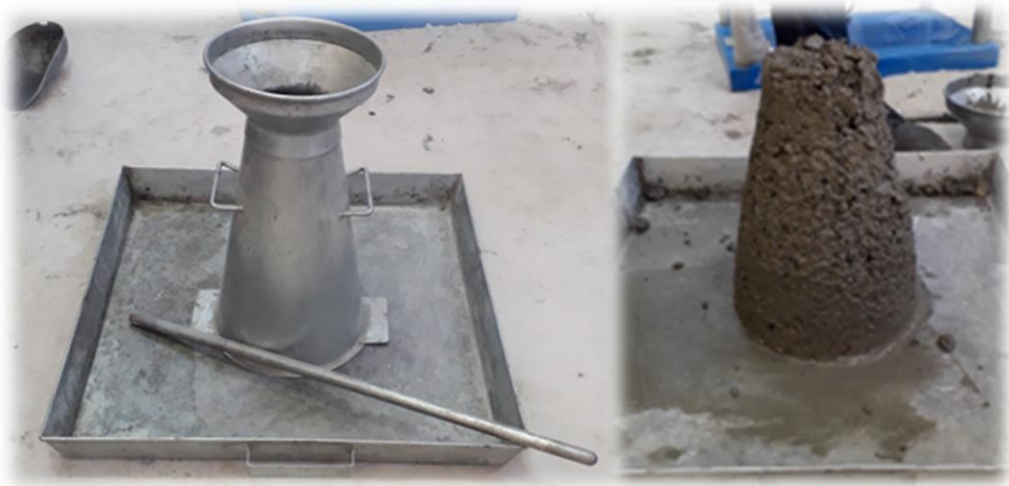


Figure II-9 : Mesure de l'affaissement de cône d'Abrams.

II.2.3. Dosage en ciment

La résistance moyenne visée R'_{28} , permet d'évaluer le rapport C/E ; on utilisant la formule de DREUX GORRISS donnée par l'expression (II.1) :

$$f_c = G \cdot f_{CE} \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right) \dots \dots \dots (II.1)$$

Avec :

f_c : résistance visée à 28 jours en (MPa).

f_{CE} : classe vraie de ciment en (MPa) .

G : coefficient granulaire, (choisi du tableau II.8).

C : dosage en ciment en (Kg/m^3).

E : dosage en eau en ($\text{Kg d'eau} / \text{m}^3$ de béton ou litre d'eau/ m^3 de béton).

Tableau II-6 : Coefficient granulaire G en fonction de la qualité des granulats et de Dmax. [15]

Qualité des granulats	Dimension D _{max} des granulats		
	Fins D _{max} ≤ 12.5mm	Moyens 20mm ≤ D _{max} ≤ 31.5 mm	Gros D _{max} ≤ 50mm
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 16 mm, et sont de bonne qualité ; d'où un coefficient granulaire **G=0.45**.

Le ciment CPJ CEM II / 42,5 R. Sa classe vraie est estimée à 42.5MPa.

$$\frac{C}{E} = \frac{28.75}{0.45 \times 42.5} + 0.5$$

D'où $\frac{C}{E} = 2$

Connaissant le rapport $\frac{C}{E}$ et l'affaissement A souhaité au cône d'ABRAMS, nous déduisant, grâce à l'abaque, $\frac{C}{E}$ en fonction de A, le dosage en ciment correspond :

$\frac{C}{E} = 2$ et A=7 → l'abaque donne la valeur du dosage en ciment : C= 350 kg/m³

$\frac{C}{E} = 2 \Rightarrow E = 175 \text{ litre/m}^3$

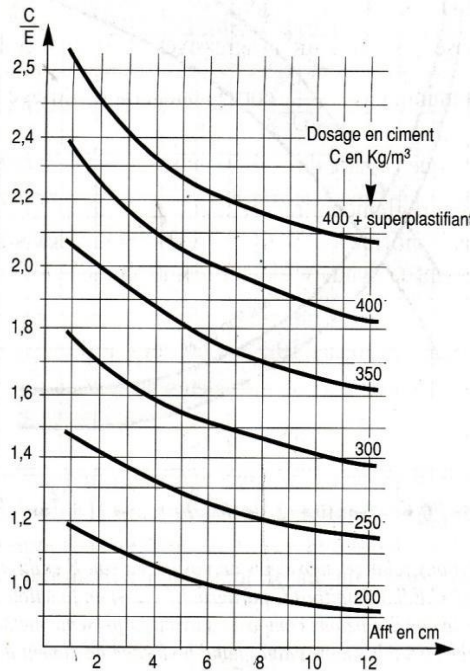


Figure II-10 : Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment 'C'

II.2.4. Tracé de la courbe granulaire de référence

Sur le même graphe d'analyse granulométrique, Type AFNOR (pourcentage des tamisât en fonction du module ou diamètre des tamis) déjà obtenu et illustré par la Figure : II.6, nous traçons une courbe granulaire de référence OAB avec:

- le point O est repéré par ses coordonnées: [0.08; 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 $D \leq 20\text{mm}$, l'abscisse est de $D/2$,

- si $D > 20\text{mm}$, l'abscisse est située au milieu limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à D.

Le plus gros granulat est $D = 15\text{mm}$, donc le point de brisure a pour abscisse:

$$D/2 = 7.5\text{mm}.$$

en ordonnée :

$$Y = 50 - \sqrt{D_{\text{max}}} + k + k_s + k_p$$

Tableau II-7 : Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats. [15]

Vibration	Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (sable en particulier)	Roulé 00	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en Ciment						
400+Fluide	-2	0	-4	-2	-6	-4
400	0	+2	-2	0	-4	-2
350	+2	+4	0	+2	-2	0
300	+4	+6	+2	+4	0	+2
250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

On a : $k = 2$

Comme le module de finesse M_f du sable est de 2.7, celui-ci est classé comme un sable bon, la valeur du coefficient de correction K_s sera calculée par la formule suivante:

$$K_s = 6. M_f - 15 = 6 \times 2.7 - 15$$

$$K_s = 1.2$$

$$k_p = 0 \text{ (béton non pompable)}$$

$$Y = 50 - \sqrt{16} + 2 + 1.2 + 0$$

$$Y = 49.2$$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure A sont: (8 ; 49.2).

II.2.5. Tracé des lignes de partage

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95% de la courbe granulatoire du plus petit granulat au point d'ordonnée 5% de la courbe granulatoire du granulat suivant et ainsi de suite.

Le point d'intersection entre cette ligne et la courbe théorique du mélange optimum indique les proportions en pourcentage de volume absolu de sable et gravier. Ces proportions sont lues sur le pourcentage de tamisât correspondant à ce point d'intersection.

Ce pourcentage indique la proportion de sable, le complément donne la proportion de gravier.

Sur la courbe de granulométrie, les points d'intersection entre les lignes de partage et la courbe OAB donnent les pourcentages des granulats suivants:

- Sable 0/3: 38 %
- Gravier 3/8: 10 %
- -Gravier 8/15: 52 %

II.2.6. Coefficient de compacité

Il est défini comme le rapport des volumes absolus en litres des matières solides:

$$V_m = V_g + V_c \text{ au volume total, de } 1\text{m}^3, \text{ du béton frais soit: } \gamma = M_v/1000.$$

En adoptant pour le coefficient de compacité γ dans le tableau II.8 ($D_{\max} = 16$ mm, le type de béton est un béton plastique avec une vibration normale, la valeur de $\gamma = 0.815$

Pour notre cas on a un sable et gravier concassés, donc on apportera une correction de « -0.03 ».

Soit :

$$\gamma = 0.815 - 0.03 \Rightarrow \gamma = \mathbf{0.785}$$

Tableau II-8 : Compacité du béton en fonction de Dmax, de la consistance et du serrage. [15]

Consistance	Serrage	Compacité (γ)						
		D _{max} = 5	D _{max} = 8	D _{max} = 12.5	D _{max} = 20	D _{max} = 31.5	D _{max} = 50	D _{max} = 80
Molle (TP-F1)	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820
	Vibration Faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825
	Vibration normale	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Plastique (P)	Piquage	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	Vibration Faible	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
	Vibration normale	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration Puissante	0.755	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
Ferme (F)	Piquage	0.755	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Vibration Faible	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850
	Vibration Puissante	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.850	0.855

Note

*Ces valeurs sont convenables pour les granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes

Sable roulé et gravier concassé ($c_1 = -0.01$)

Sable et gravier concassé ($c_1 = -0.03$)

*Pour les granulats légers on pourra diminuer de 0.03 les valeurs de c ($c_2 = -0.03$)

*Pour un dosage en ciment $C \neq 350 \text{Kg/m}^3$ on apportera le terme correctif suivant ($c_3 = (C - 350) / 5000$)

II.2.7. Dosage des granulats

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

- **Volume absolu du ciment :**

$$V_{\text{ciment}} = m_c / \rho_c = 350 / 3.1$$

$$V_{\text{ciment}} = 112.9 \text{ L/m}^3$$

Avec m_c : Dosage en ciment (en masse).

ρ_c : Masse volumique du ciment.

- **Volume absolu de l'ensemble des granulats :**

$$V_{\text{gr}} = 1000 \times 0.785 - 112.9$$

$$V_{\text{gr}} = 672.1 \text{ L/m}^3$$

- **Volume absolu du sable :**

$$V_s = 672.1 \times 0.31 = 255.4 \text{ L/m}^3$$

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

$$V_{g\ 3/8} = 672.1 \times 0.14 = 67.21 \text{ L/m}^3$$

- **Volume absolu du gravier 8/15 :**

$$V_{g\ 8/15} = 672.1 \times 0.55 = 349.49 \text{ L/m}^3$$

Les dosages en masse des éléments secs (granulats, sable) pour 1m^3 de béton sont donnés par:

- **Masse du sable (0/3) :**

$$M_s = 208.35 \times 2.66 = 679.36 \text{ Kg/m}^3$$

- **Masse du gravier (3/8) :**

$$M_{g\ 3/8} = 94.1 \times 2.63 = 176.76 \text{ Kg/m}^3$$

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

$$M_{g\ 8/15} = 369.65 \times 2.67 = 933.14 \text{ Kg/m}^3$$

La composition en masse obtenue pour 1 m³ de béton est donnée dans le tableau II.9:

Tableau II-9 : Composition d'un m³ de béton

Constituants	Masse en (kg)
Sable (0/3)	679.36
Gravier (3/8)	176.76
Gravier (8/15)	933.14
Ciment	350
Eau	175

II.3. Fabrication et préparation des éprouvettes

II.3.1. Types d'éprouvettes

Pour étudier le comportement des poutres proposées, un coffrage métallique est réalisé qui permet de confectionner trois (03) poutres de dimensions 150x150x600 mm³ à partir de la même gâchée de béton et du béton de fibres, obtenu après malaxage selon la composition du béton déterminée en fonction des constituants, dans un malaxeur standard de capacité 65 litres. Pour le béton de fibres, l'ajout des fibres métalliques est effectué par petites quantités en cours du malaxage. Les moules sont bien nettoyés et humidifiés.

Chaque série est composée de trois (03) poutres identiques, selon la variante considérée. Pour les essais de compression, des éprouvettes prismatiques de dimensions 40x40x160 mm³ ont été confectionnées et testées en flexion. Les deux morceaux, obtenus après la rupture du prisme par flexion seront testés en compression. Un agent de démoulage est utilisé pour faciliter le démoulage des éprouvettes après la prise du béton.

Le remplissage des moules des poutres est réalisé en deux phases, pour chaque phase, une vibration du béton est effectuée au moyen d'une vibration externe par une aiguille vibrante de diamètre $\phi = 40$ mm jusqu'à l'évacuation des bulles d'air. Une fois les moules remplis de béton, on arase les surfaces libres des éprouvettes, puis on les laisse 24 h (± 1 heure) à une température de 20 C ± 2 C avant le démoulage. Il est noté que les bétons fibrés sont vibrés faiblement ou légèrement, et cela afin d'éviter les problèmes d'orientation préférentielle des fibres due à la vibration et la formation des pelotes de fibres (concentration des fibres). Après démoulage, toutes les éprouvettes ont été mises en mûrissement, pour subir la cure dans des bacs hygrométriques à une T°=20°C, pendant une

durée de 28 jours, selon la norme européenne (NF 2001) relative à la confection et la conservation des éprouvettes.

Les éprouvettes doivent être sorties de l'eau moins de 15 mn avant l'essai, elles doivent être essuyées avec un chiffon propre conformément aux normes EN V 197-1 et NF P 15-301.

Toutes les opérations de réalisation des poutres prismatiques ont été effectuées au laboratoire du département de Génie civil de l'université de Bouira.

II.3.2. Essais mécaniques de flexion et de compression

Le mode opératoire de l'essai de flexion et de compression est décrit dans la norme EN 196-1. Ces essais permettent de quantifier les résistances, en particulier les contraintes de rupture à la traction par flexion et la contrainte de rupture par compression.

L'essai de rupture par flexion est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions 40x40x160 mm, disposées sur deux rouleaux espacés de 100 mm et soumises à une charge concentrée placée au milieu de la poutre. La contrainte de rupture est déterminée par la relation (II.2)

$$R_F = \frac{6.M}{b^3} \dots \dots \dots (II.2)$$

Avec : R_F : Résistance à la flexion (N/mm²)

M : Moment de flexion (N.mm)

b : coté de la section carrée de l'éprouvette (mm)

Pour les poutres de dimensions 150x150x600mm, l'essai de flexion 3-points est réalisé selon le même mode opératoire, excepté la distance entre appuis qui est de 500 mm.

L'essai de compression est conduit sur les demi-prismes obtenus après rupture du prisme par flexion. Ces demi-prismes sont comprimés par leurs faces latérales de démoulage sur une section de 40 x40 mm, jusqu'à la rupture totale.

Les dispositifs de rupture par flexion et par compression sont illustrés par la figure II.11.

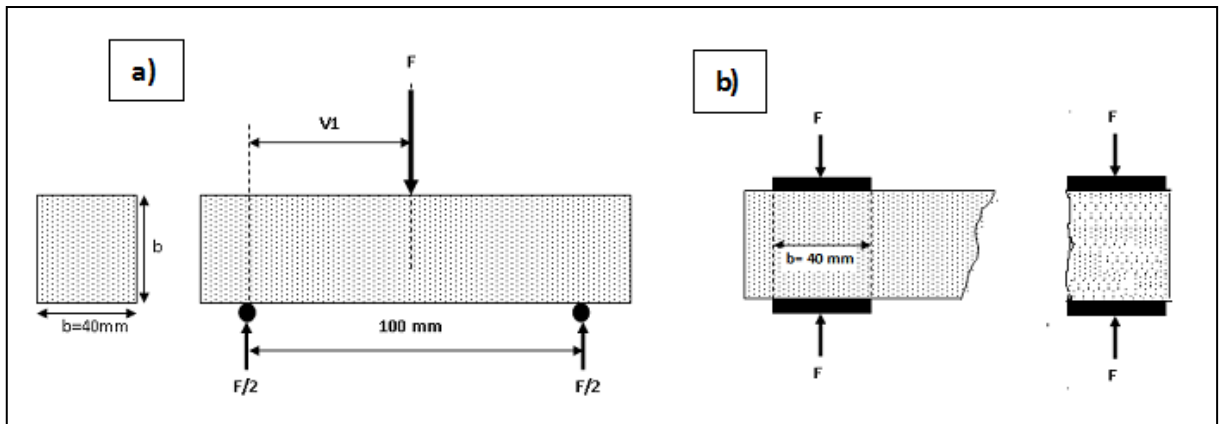


Figure II-11 : Dispositifs de rupture en : a) flexion, b) compression

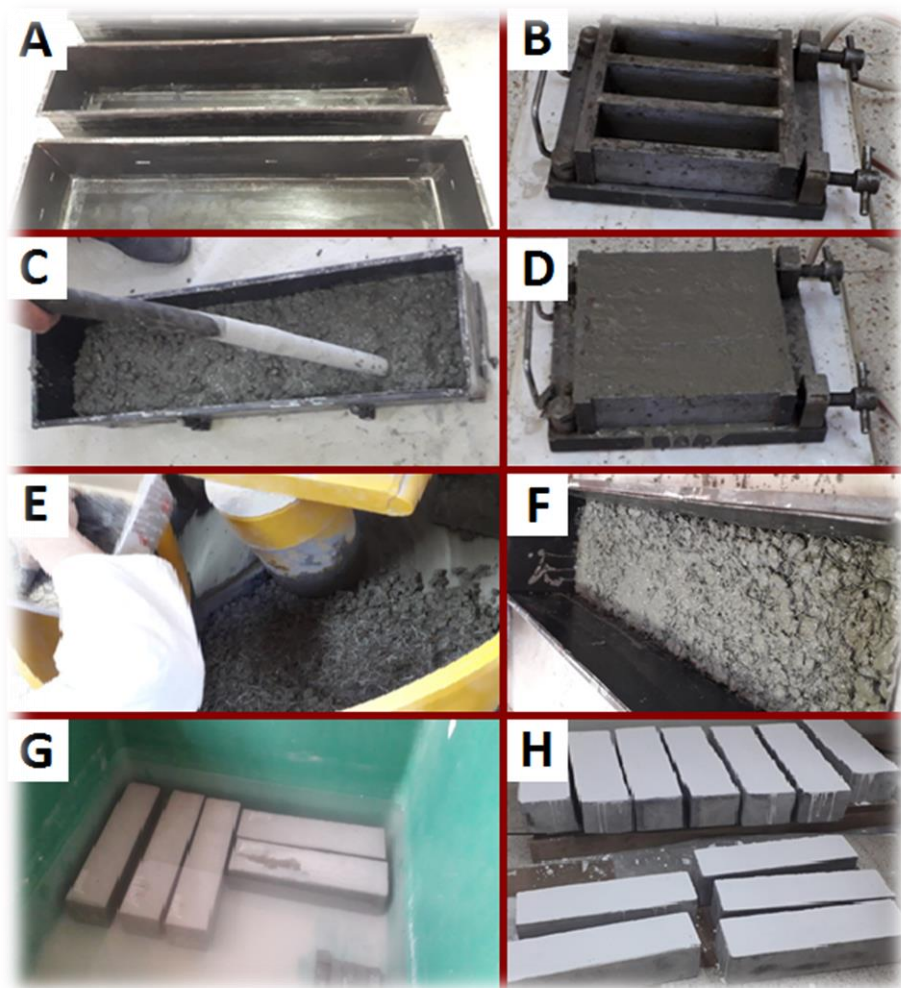


Figure II-12 : Elaboration des éprouvettes : a) moules 15x15x60 cm; b) moules 4x4x16 cm; c) bétonnage; d) remplissage des moules; e) ajout des fibres dans le malaxage; f) couche en BAF; g) cure dans des bacs hygrométriques ; h) spécimens pour essais

II.4. Variantes considérées

Pour mettre en évidence l'influence de la hauteur de la couche en béton de fibres sur la résistance à la traction par flexion, plusieurs variantes ont été considérées, à savoir :

- 03 Poutres de béton de référence (témoin) ;
- 03 Poutres avec une couche de hauteur de 3cm en béton de fibres
- 03 Poutres avec une couche de hauteur de 6cm en béton de fibres
- 03 Poutres avec une couche de hauteur de 8cm en béton de fibres

NB : la couche en béton de fibres est située dans la zone tendue de la poutre

II.5. Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre, nous avons présentés en détails tous les éléments de l'analyse expérimentale, en commençant par la caractérisation des différents matériaux utilisés à savoir les constituants du béton(Sable 0-3, Gravier 3-8 et 8-15, ciment, etc) et les fibres métalliques courtes. La formulation du béton est obtenue en utilisant la méthode de Dreux –Gorisse. Enfin, toutes les procédures de confection des éprouvettes prismatiques de dimensions 15x15x60 cm et 4x4x16 cm, ont été présentés. Enfin, le mode opératoire et les différents essais mécaniques considérés dans ce travail sont également rappelés et illustrés.

L'élaboration et la caractérisation des différents spécimens considérés dans cette étude ont été réalisées conformément aux règles et normes requises au laboratoire de Génie Civil de l'université de Bouira.

Les différents résultats des essais de flexion et de compression seront présentés et illustrés dans le chapitre suivant.

III. Présentation des résultats et analyses

III.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation et discussion des résultats expérimentaux obtenus par les essais de traction par flexion des éprouvettes prismatiques en considérant différentes hauteurs de la couche en béton de fibres. L'objectif escompté consiste à mettre en exergue l'influence d'une part de la hauteur de la zone en BFM sur la résistance et sur le mode de rupture d'autre part.

III.2. Essais de traction par flexion

III.2.1. Présentation du dispositif d'essai

La caractérisation du comportement du béton à la traction est réalisée suivant un essai de traction par flexion. Les essais sont réalisés sur des poutres prismatiques en béton, de dimensions normalisées 150x150x600 mm sur une machine de flexion universelle à l'aide d'une presse hydraulique de type RP 2000 XPE. Avec une étendue de capacité de 200 KN.

L'essai est conduit sous un chargement quasi-statique avec un pas de 0,5 KN/m. L'essai de flexion 3 points est effectué jusqu'à la rupture de l'éprouvette. On peut observer que le comportement de la poutre prismatique en béton sous un charment de flexion 3 points est fragile. En effet, la rupture est obtenue au milieu de la poutre, dans la section correspondant au point d'application de la charge. Avant l'atteinte du pic le comportement est presque linéaire jusqu'au pic, une petite non linéarité apparaît à la limite de rupture. Lorsque la charge ultime est atteinte la poutre se rompt brusquement. La résistance décroît très rapidement alors que le déplacement correspondant croît plus rapidement. La poutre est totalement subdivisée en deux parties presque similaires et identiques. La résistance du béton à la traction et le moment de rupture sont alors déduits de la charge ultime. L'acquisition des valeurs de la charge et de la contrainte de rupture est gérée par un ordinateur muni d'un logiciel de commande qui traite tous les résultats. Un système LVDT est utilisé pour capter tous les déplacements de la poutre en fonction du chargement.



Figure III-1 : Bâti de flexion

III.3. Présentation des résultats

Tous les résultats sont résumés dans les tableaux suivants:

A- Variante 1 : Poutres de référence ‘BT’

Dimensions (cm)	Hauteur zone BFM (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)	Type d'essai	Force (kN)	Contrainte (MPa)
15x15x60	0	2381.481	Flexion	22.2	4.9

Dimensions (cm)	Hauteur zone BFM (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)	Type d'essai	Force (kN)	Contrainte (MPa)
15x15x60	0	2377.778	Flexion	20.4	4.5

Dimensions (cm)	Hauteur zone BFM (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)	Type d'essai	Force (kN)	Contrainte (MPa)
15x15x60	0	2362.963	Flexion	21.3	4.7

Valeurs moyennes

Dimensions (cm)	Hauteur zone BFM (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)	Type d'essai	Force (KN)	Contrainte (MPa)
15x15x60	0	2374.074	Flexion	21.3	4.7

B- Variante 2 : Poutres en BFM avec H zone en BFM = 30 mm

Dimensions (cm)	Hauteur zone BFM (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)	Type d'essai	Force (kN)	Contrainte (MPa)
15x15x60	3	2377.778	Flexion	25.3	5.6

Dimensions (cm)	Hauteur zone BFM (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)	Type d'essai	Force (kN)	Contrainte (MPa)
15x15x60	3	2391.11	Flexion	24.2	5.4

Dimensions (cm)	Hauteur zone BFM (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)	Type d'essai	Force (kN)	Contrainte (MPa)
15x15x60	3	2382.963	Flexion	24.2	5.4

Valeurs moyennes

Dimensions (cm)	Hauteur zone BFM (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)	Type d'essai	Force (KN)	Contrainte (MPa)
15x15x60	3	2383.94	Flexion	24.56	5.46

C- Variante 3 : Poutres en BFM avec H zone en BFM = 60 mm

Dimensions (cm)	Hauteur zone BFM (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)	Type d'essai	Force (kN)	Contrainte (MPa)
15x15x60	6	2424.44	Flexion	24.9	5.5

Dimensions (cm)	Hauteur zone BFM (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)	Type d'essai	Force (kN)	Contrainte (MPa)
15x15x60	6	2413.33	Flexion	25.5	5.7

Dimensions (cm)	Hauteur zone BFM (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)	Type d'essai	Force (kN)	Contrainte (MPa)
15x15x60	6	2450.37	Flexion	26	5.8

Valeurs moyennes

Dimensions (cm)	Hauteur zone BFM (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)	Type d'essai	Force (KN)	Contrainte (MPa)
15x15x60	6	2429.38	Flexion	25.46	5.66

D- Variante 3 : Poutres en BFM avec H zone en BFM = 80 mm

Dimensions (cm)	Hauteur zone BFM (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)	Type d'essai	Force (kN)	Contrainte (MPa)
15x15x60	8	2431.852	Flexion	27.6	6.1

Dimensions (cm)	Hauteur zone BFM (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)	Type d'essai	Force (kN)	Contrainte (MPa)
15x15x60	8	2424.148	Flexion	24.8	5.5

Dimensions (cm)	Hauteur zone BFM (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)	Type d'essai	Force (kN)	Contrainte (MPa)
15x15x60	8	2437.778	Flexion	21.1	4.7

Valeurs moyennes

Dimensions (cm)	Hauteur zone BFM (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)	Type d'essai	Force (KN)	Contrainte (MPa)
15x15x60	8	2431.25	Flexion	24.5	5.43

Les valeurs moyennes des différents résultats des essais de traction par flexion réalisés sur les différents spécimens considérés sont résumées dans le tableau III.1 et illustrés par la figure III.4.

Tableau III-1 Valeurs moyennes des contraintes et forces

spécimens		σ_f MPa	Moy	F_f kN	Moy	
BT	1	4,9		22,2		
	2	4,5	4,7	20,4	21,3	
	3	4,7		21,3		
BAF	3cm	1		24,2		
		2	5,4	5,46	24,2	24,56
		3	5,6		25,3	
	6 cm	1	5,5		24,9	
		2	5,7	5,67	25,5	25,46
		3	5,8		26	
	8cm	1	6,1		27,6	
		2	5,5	5,43	24,8	24,5
		3	4,7		21,1	

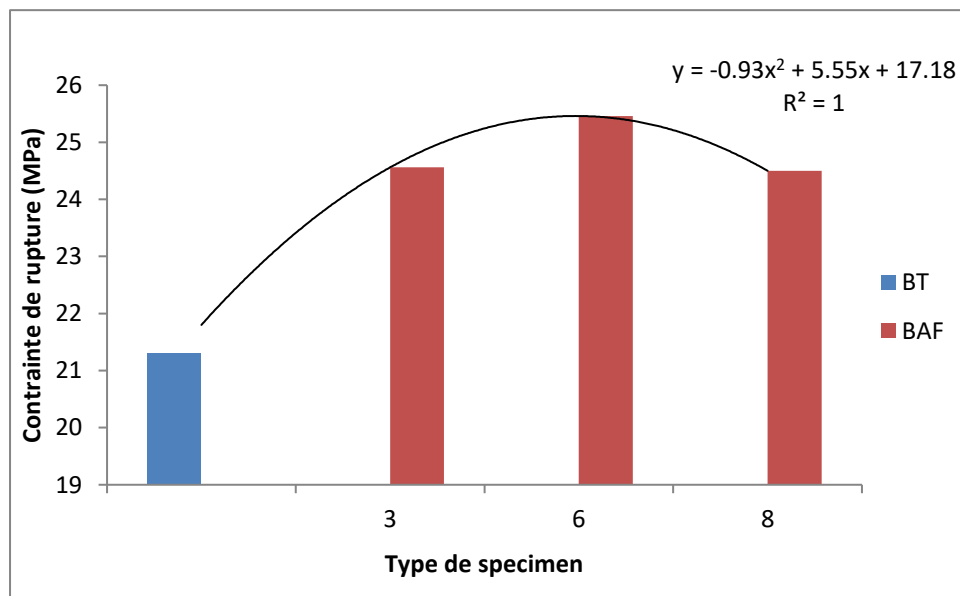


Figure III-2 : Histogramme des contraintes de rupture des spécimens

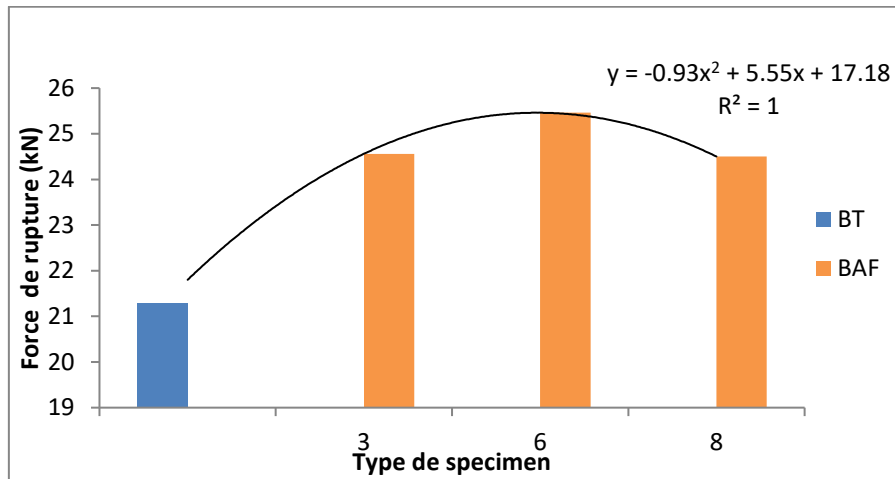


Figure III-3 : Histogramme des forces de rupture des spécimens

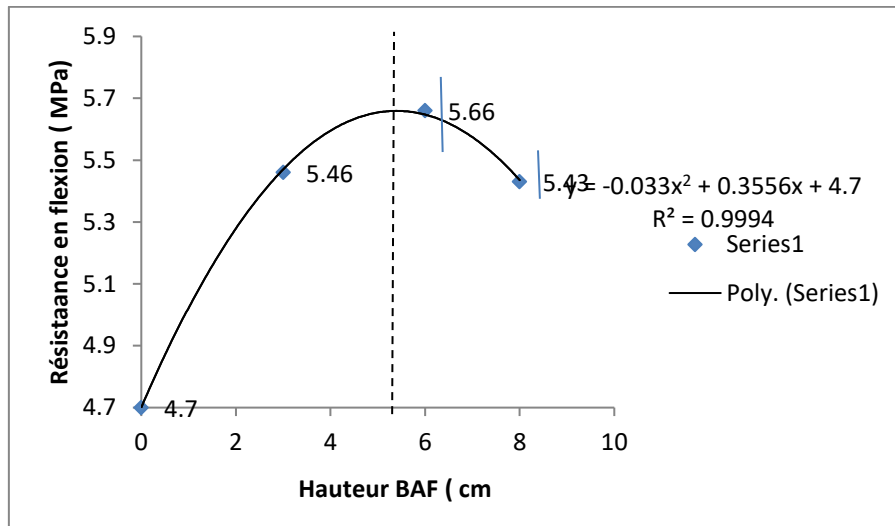


Figure III-4 : Résistance en flexion vs hauteur de la zone en BAF

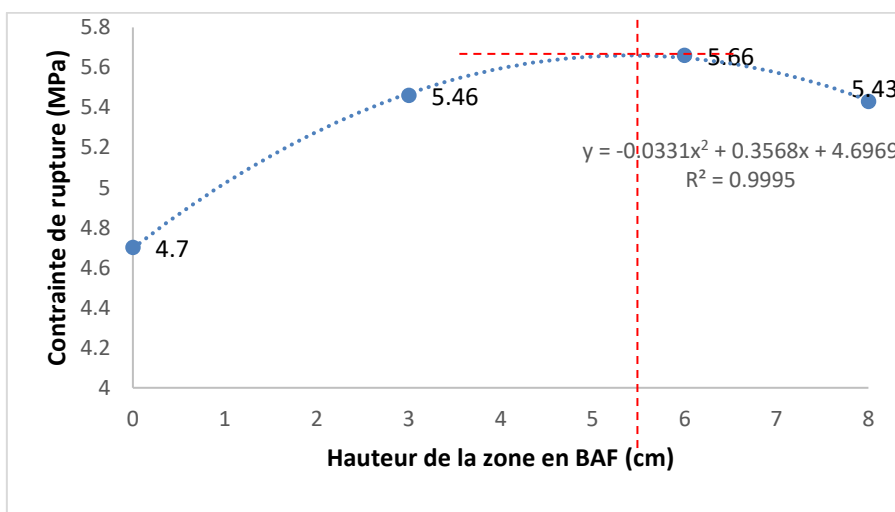


Figure III-5 : Contrainte de rupture vs hauteur de la zone en BAF

III.4. Modes de rupture

III.4.1. Poutres en béton (Poutre témoin)

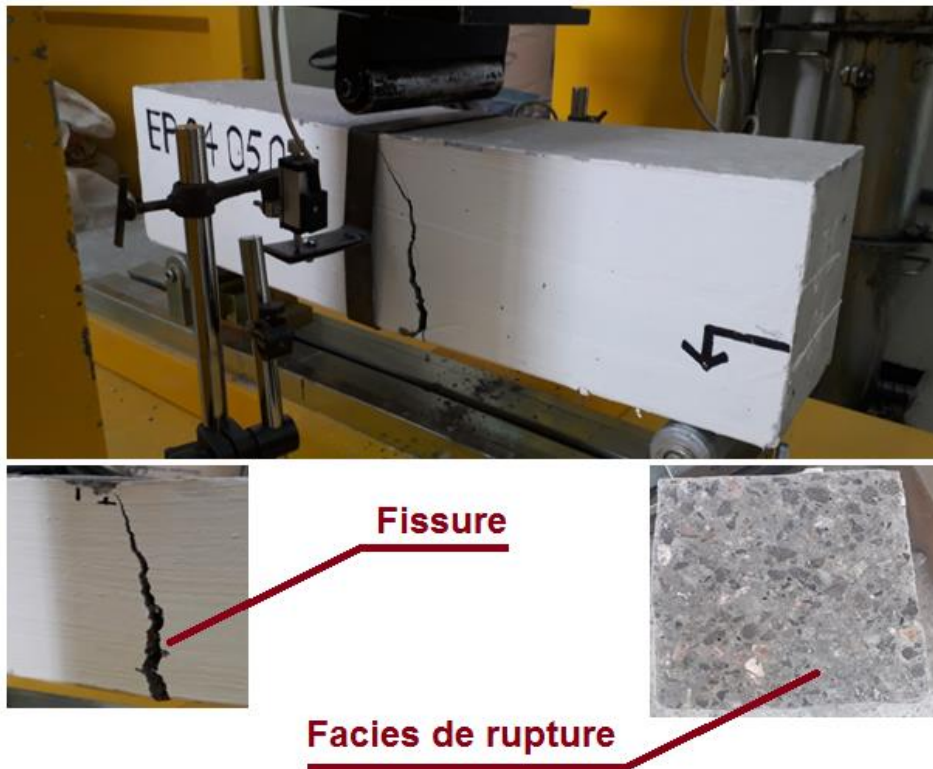


Figure III-6 : Mode de rupture des poutres en béton (Poutre témoin)

III.4.2. Poutres en béton de fibres

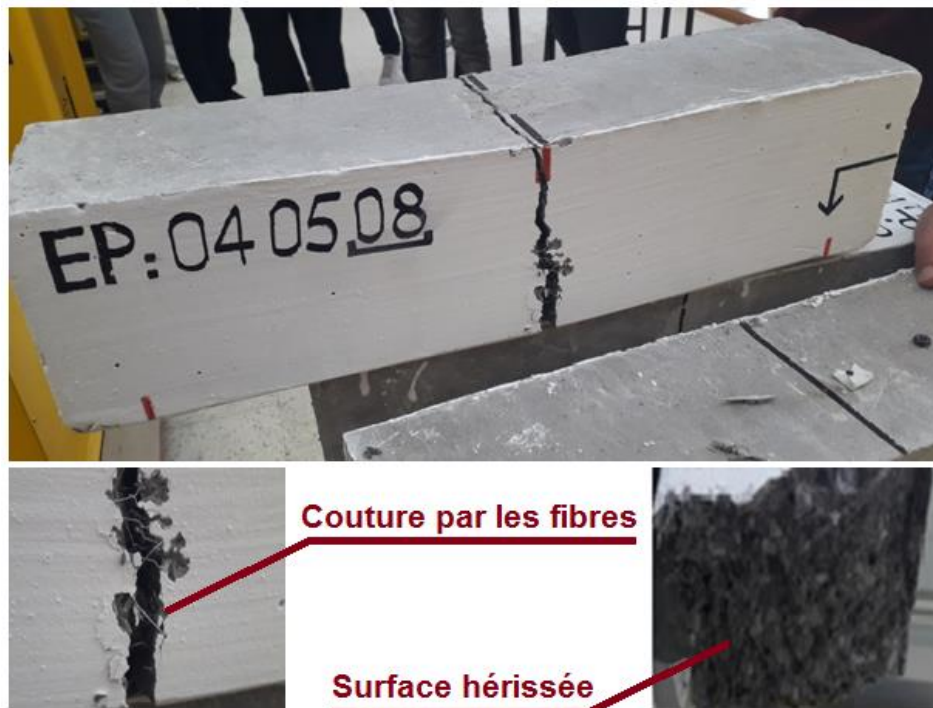


Figure III-7 : Mode de rupture des poutres en béton (témoin)

III.5. Analyse des résultats et conclusion

Les résultats illustrés dans les différentes figures III.2, III.3, III.4 et III.5 montrent que la résistance à la traction par flexion est influencée par la présence des fibres. Dans notre étude, elle est fonction de la hauteur de la couche armée de fibres métalliques.

En effet, pour $h_{BAF} = 3, 6$ et 8 cm, l'augmentation est respectivement de l'ordre de 16,2 ; 20,6 et 15,53. Aussi, la figure III.4 illustrant la variation de la résistance à la traction par flexion montre clairement et permet de conclure que la hauteur optimale de la couche en béton de fibres pour un meilleur rendement, varie entre $0,28 h_t$ à $0,34 h_t$.

Le mode de rupture observé est fragile pour tous les spécimens, tels qu'illustrés par les figures III.6 et III.7. Cependant pour les poutres armées de fibres métalliques, une légère ductilité est observée juste avant la rupture des spécimens testés. Au début du chargement, la courbe est linéaire (proportionnalité entre les contraintes et les déformations), après cette phase, la courbe s'incurve et a une forme polynomiale de deuxième degré et la poutre se rompt rapidement suite à la formation d'un plan de rupture au point d'application de la charge. Après la fissuration du béton, les fibres continuent à participer à la reprise de l'effort appliqué en cousant les fissures au niveau de la lèvres d'ouverture de la fissure, ce qui permet de retarder la formation et le développement rapide de nouveaux plans de rupture.

CHAPITRE IV MODELISATION ANALYTIQUE

Current financial situation

50%

30%

15%

Inform

It is a process to achieve the company's objectives.

Learn & ensure

Doing

Success

Trading Graph

to focus resources on the greatest opportunities to increase sales and achieve the advantage over other



if increase short term and long term activities of marketing that help to do with the analysis of a company's situation and contribute to its objectives. The objectives will be based on how you get sales by securing and keeping customers. A marketing strategy helps convey effective messages with the right kind of marketing approaches that will maximize your income and marketing activities.

43,556	12,357	99,275	24,758	45,556
334	744	3,541	354	1,876
			152	192
			346	134
			149	47,758

Issue 764
Monday, Jun 14, 2016
#CityBusiness

y of the n Union

Are you interested in... you the...
highest, high-quality product or...
address, high-quality product or...
opportunities to be both. You should...
consider an existing, while your...
customers need you to be. Your...
legs to the market. Understand your...
brand. As the provider with your...
all should be consistent with your...
app to communicate with your...
brand having a good brand...
when you're in a large...
strategy in getting a large...
increase in your market...
that you can have or make...
from the product and services you...
offer. The technology strategy you...
have should be consistent with...
branding strategy. Your brand...
be consistent with your brand.

IV. Modélisation analytique

IV.1. Introduction

Le comportement d'une fibre est indissociable de celui de la matrice. Il est donc indispensable de toujours raisonner en terme de couple fibre – matrice. La modélisation du couple fibre - matrice optimal à travers sa résistance en traction par flexion, permet de mobiliser le travail de la fibre pour une meilleure limitation de la propagation des fissures.

La connaissance des approches de modélisation permet de comprendre le comportement des éléments, d'élaborer des nouveaux modèles et surtout de formuler des conclusions argumentées et fiables. En général, pour mieux comprendre le comportement mécanique d'un matériau, il est recommandé d'utiliser un concept d'homogénéisation, en se basant sur l'hypothèse de continuité, pour éviter les problèmes liés aux hétérogénéités.

Dans ce chapitre, nous présentons les approches composites de modélisation.

IV.2. Propriétés mécaniques

IV.2.1. Comportement en traction

Le béton de fibres est un béton dans le quel des fibres sont incorporées dans la matrice béton pour améliorer les performances mécaniques en particulier la résistance en traction et le mode de rupture. Les fibres peuvent être naturelles ou artificielles, les plus utilisées dans le béton sont les fibres métalliques grâce à leur bonne adhérence au béton et leur compatibilité mécanique dans l'ensemble. Les bétons de fibres présentent des performances très intéressantes en comparaison au béton conventionnel, telles que : la résistance en traction, la ductilité, la durabilité et surtout le comportement post fissuration. Les fibres permettent le transfert des efforts de traction au travers des fissures, étant donné que les fibres assurent la couture des fissures, ce qui permet d'augmenter la résistance et de retarder la fissuration. La comparaison du comportement du béton armé de fibres métalliques par rapport au béton classique est illustrée par les figures IV.1 et IV.2.

Les bétons de fibres sont caractérisés par leur comportement en traction. En effet, l'incorporation des fibres dans une matrice cimentaire a pour but d'améliorer la faible résistance du béton en traction et de s'opposer à la création et propagation rapide des

fissures. Le comportement post fissuration est très influencé par le taux de fibres utilisées, l'orientation et disposition des fibres, l'élanement des fibres, le mode de fonctionnement, la qualité de la matrice etc. les travaux antérieurs cités dans la recherche bibliographique ont montré que la résistance à la traction peut être augmentée jusqu'à 150% en utilisant un taux de 1,5 -2% en fibres. Les fibres assurent la couture des macro fissures et lient les blocs entre eux et favorisent l'engrènement

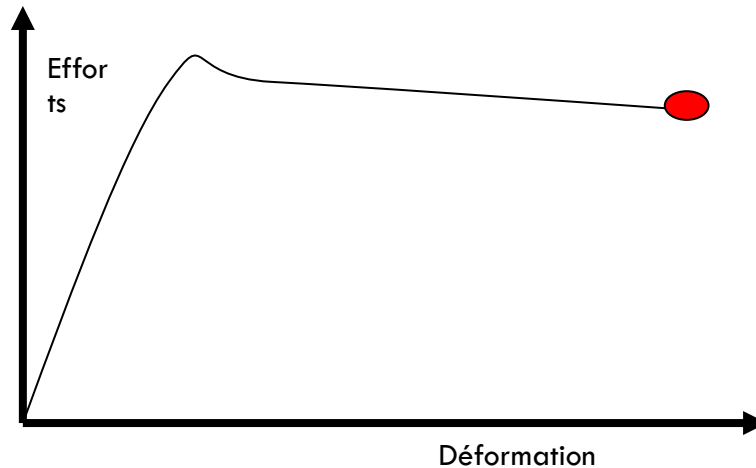


Figure IV-1 : Comportement des fibres métalliques

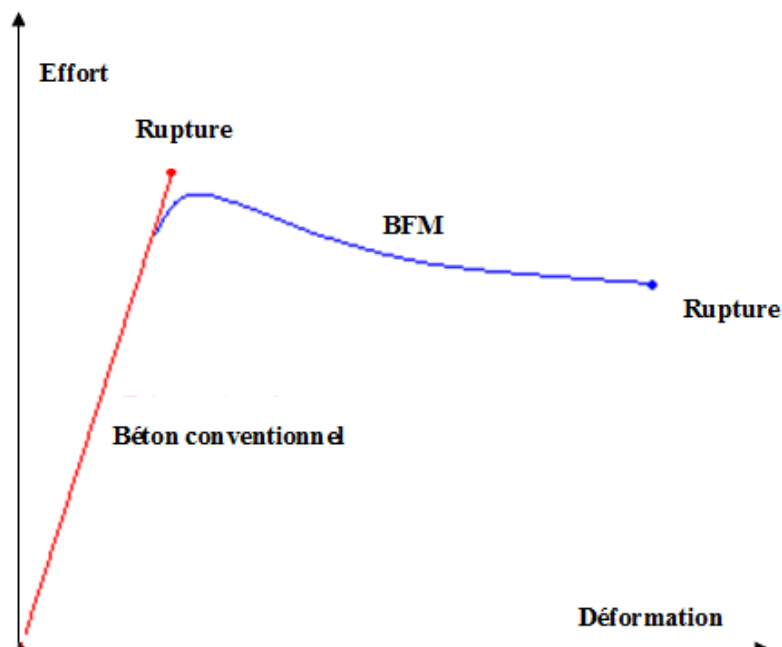


Figure IV-2 : Comparaison du comportement du béton armé de fibres métalliques par rapport au béton conventionnel

IV.2.2. Comportement en compression

La résistance à la compression simple est peu influencée par la présence des fibres.

La plupart des résultats de la littérature montrent une légère augmentation de l'effort maximum de compression avec la teneur en fibres. C'est pour cette raison, l'emploi des bétons de fibres est recommandé pour les éléments soumis à des efforts de traction.

L'ajout des fibres dans le béton permet d'améliorer la résistance en traction mais peu la résistance en compression, selon les travaux de plusieurs auteurs. Le béton est caractérisé par sa résistance à la compression à 28 jours, notée f_{c28} . Elle dépend endormement de la nature des constituants, de la classe du ciment utilisé, du dosage en m^3 , et des conditions de fabrication du béton.

Pour déterminer les caractéristiques mécaniques, à savoir la résistance à la compression, le module d'élasticité E , le coefficient de Poisson ν , on utilise l'essai de compression. L'essai est simple à réaliser, il consiste à exercer une force axiale de compression à l'aide d'une machine hydraulique de compression sur des éprouvettes normalisées, de forme cylindrique de hauteur $H=32\text{cm}$ et de diamètre $\phi =16\text{cm}$ selon la norme ASTM C39/C39 M-03 ou sur des éprouvettes cubiques de dimensions normalisées, obtenues à partir des éprouvettes prismatiques de dimensions $4\times 4\times 16$ après avoir subit l'essai de flexion.

IV.3. Approches de modélisation

IV.3.1. Approche composite

IV.3.1.1 Cas de la résistance à la traction

L'incorporation des fibres dans une matrice cimentaire permet d'obtenir le béton de fibres BAF, considéré comme un matériau composite. Le béton est considéré comme une matrice et les fibres métalliques sont considérées comme le renfort. L'approche par la théorie des matériaux composites fut la première utilisée pour quantifier l'action des fibres sur la résistance du matériau. Les performances à la rupture des composites sont généralement conditionnées par les propriétés des fibres. Pour le cas des fibres de verre,

les performances sont limitées par une déformabilité trop faible de la matrice. Les performances à la rupture des composites sont obtenus par une bonne optimisation des propriétés des constituants.

IV.3.1.1.1. Modèles série et parallèle : (Loi des mélanges)

Dans le cas d'un composite unidirectionnel soumis à une traction longitudinale, l'initiation de la rupture se produit généralement soit par rupture des fibres lorsque la déformation à la rupture des fibres est plus faible que celle de la matrice ($\epsilon_{fu} < \epsilon_{mu}$), soit par rupture transverse de la matrice dans les cas contraire. Les courbes contraintes – déformations selon les deux cas sont représentées sur la figure IV.3 et IV.4. En général, la loi des mélanges est donnée par l'expression IV.1. [16]

$$\sigma_{bft} = (1 - \mu_{fu}) \cdot (\sigma_{bt}) + \mu_{fu} \cdot \sigma_{ft} \dots\dots\dots(IV.1)$$

En admettant l'égalité des déformations à l'instant de la rupture, on peut écrire :

$$\sigma_{bft} = (1 - \mu_{fu}) \cdot (\sigma_{bt})_{\epsilon_{fu}} + \mu_{fu} \cdot \sigma_{ft} \dots\dots\dots(IV.2)$$

Avec :

σ_{bft} : contrainte à la rupture du composite (BFM)

$(\sigma_{bt})_{\epsilon_{fu}}$: Contrainte dans la matrice béton pour une déformation égale à la Déformation ϵ_{fu} à la rupture des fibres.

σ_{ft} : Contrainte dans les fibres

μ_{fu} : Pourcentage des fibres

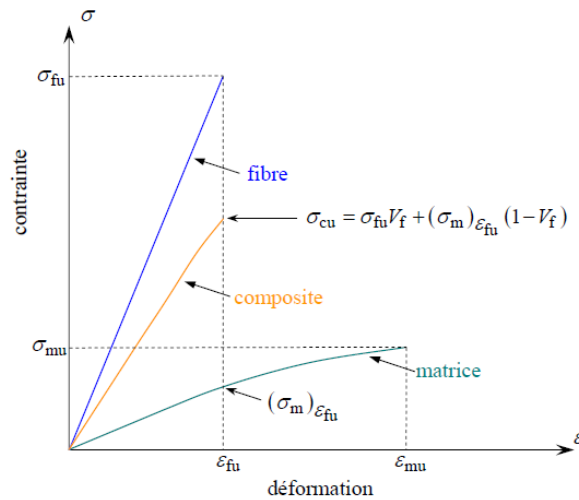


Figure IV-3 : Courbe contrainte-déformation dans le cas $\epsilon_{fu} < \epsilon_{mu}$.

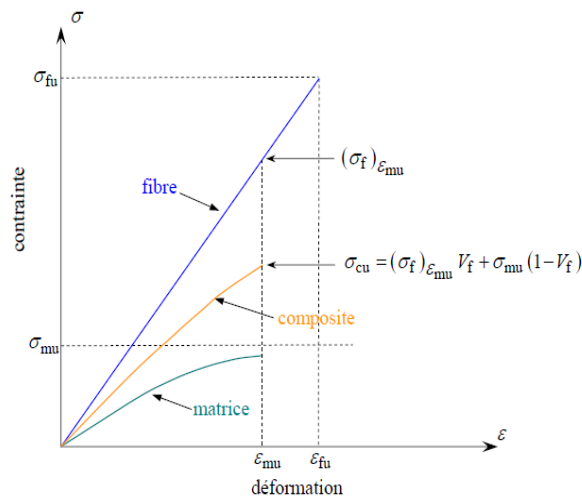


Figure IV-4 : Courbe contrainte-déformation dans le cas $\epsilon_{fu} > \epsilon_{mu}$.

La loi des mélanges est valable pour le cas des fibres continues et alignées dans la direction de la sollicitation, elle ne permet pas de déterminer avec précision le module d'élasticité et la contrainte des bétons armés de fibres courtes disposées et orientées d'une manière aléatoire dans la matrice béton. En effet, cette loi ne tient pas compte de la discontinuité des fibres, de l'orientation et de l'interface fibre-matrice béton. C'est une approche approximative qui ne tient nullement compte de la morphologie du matériau, en particulier le matériau béton armé de fibres. Dans la littérature, on peut trouver beaucoup de modèles de loi de mélange améliorée, en introduisant des coefficients réducteurs qui prennent en compte le rendement des fibres. A titre d'exemple, dans cette étude, on s'intéressera au modèle de Tsai-Pagano appliqué pour le cas des fibres courtes [16].

IV.3.1.1.2. Approche de Tsai-Pagano

Les équations proposées par Halpin –Tsai permettent de prédire d’une manière simple les modules d’un composite renforcé par des fibres courtes alignées. Les formulations proposées sont fonction d’un facteur dépendant de la géométrie des fibres, de la distribution et de la fraction volumique des fibres [16]. Pour le cas d’une orientation aléatoire des fibres dans le plan, (cas du béton de fibres), en utilisant la théorie de l’élasticité orthotrope, le module d’élasticité peut être calculé par l’approche de Tsai-Pagano exprimée par la relation IV.3.

$$\sigma_{bft} = \frac{5}{8}\sigma_{bt} + \frac{3}{8}\sigma_{ft} \dots\dots\dots(IV.3)$$

Tableau IV-1 : Comparaison des résistances théoriques et expérimentales en traction

Caractéristiques Mécaniques	μ_f %	σ_{bt} MPa	$\sigma_{ft\ els}$ MPa	σ_{bft} Exp MPa	σ_{bft} Th MPa	Erreur %
Valeur	1,5	2,1	900	2,71	2,33	14

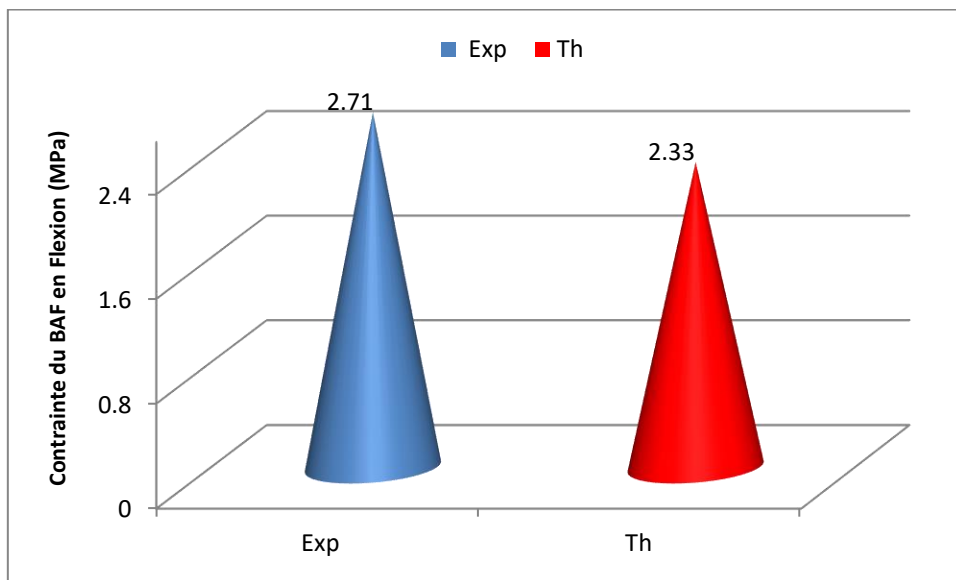


Figure IV-5 : Histogramme en barres des contraintes expérimentale et théorique

Même si le modèle est appliqué pour le cas des fibres courtes, la confrontation des résultats montre que l’erreur commise est de l’ordre de 14 %, ceci peut être expliqué par le fait que ce modèle ne tient pas compte de l’interface fibres- matrice.

IV.3.1.2 Cas de la résistance en flexion

La résistance en flexion correspond généralement à la résistance de la matrice à la fissuration [17].

Swamy. R.N & Mangat P.S [18] ont proposé un modèle semi empirique pour l'évaluation de la résistance en flexion des composites 'ciment – verre', donné par la relation IV.4, tel que :

$$\sigma_{bff} = 0,97 \cdot \left(1 - \mu_{fu}\right) \cdot (\sigma_{bf}) + 3,41 \cdot \frac{l_f}{d} \mu_{fu} \dots\dots\dots(IV.4)$$

Avec :

σ_{bff} : Contrainte ultime de flexion du composite

σ_{bf} : Contrainte ultime de flexion de la matrice

l_f : Longueur des fibres

d : Diamètre des fibres

Tableau IV-2 : Comparaison des résistances théoriques et expérimentales en flexion

Caractéristiques mécaniques	μ_f %	σ_{bf} Mpa	l_f mm	d mm	σ_{bff} Exp Mpa	σ_{bff} Th Mpa	Erreur %
Valeur	1,5	4,7	30	0,55	5,77	7,28	20,7

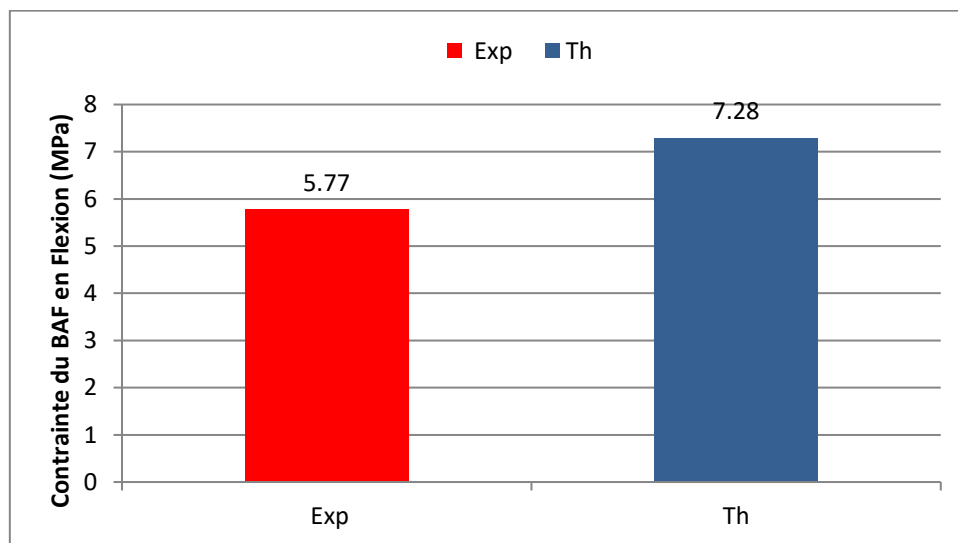


Figure IV-6 : Histogramme en barres des contraintes expérimentale et théorique

L'inconvénient de ce modèle comme d'ailleurs pour tous les autres modèles empiriques est qu'il ne tient pas compte de l'interface fibres- matrice qui peut influencer sur le mode de fissuration et rupture, comme par exemple la décohésion partielle ou totale. Car l'état de l'interface au moment de la fissuration influe sur la forme des équations constitutives.

IV.4. Conclusion du chapitre

Une modélisation correcte du comportement du matériau repose sur la connaissance précise des lois de comportement contrainte- déformation. Pour comprendre donc le comportement des bétons de fibres, il est indispensable donc de rappeler tout d'abord les lois de comportement des constituants, à savoir le béton et l'acier (fibres métalliques).

Les approches de modélisation considérées dans cette étude, à savoir l'approche composite, en utilisant le modèle des mélanges et le modèle de Tsai –Pagano, ne permettent pas réellement de modéliser d'une manière correcte le comportement des bétons de fibres. L'inconvénient des modèles empiriques est qu'ils ne tiennent pas compte de l'interface fibres- matrice qui peut influencer sur le mode de fissuration et rupture, car l'état de l'interface au moment de la fissuration influe sur la forme des équations constitutive

CONCLUSION GENERALE

Les différents travaux de recherches menés sur les bétons de fibres métalliques montrent s'accordent sur l'augmentation significative de la résistance en traction par flexion, tandis que la résistance de compression est peu influencée. Cette augmentation dépend de la présence des fibres dans la matrice béton, la fraction des fibres, l'orientation, la nature des fibres, etc.

Ce travail de recherche consiste à mener une étude expérimentale et analytique de l'influence de la hauteur de la couche en béton de fibres sur la résistance à la traction par flexion des poutres prismatiques soumises à un chargement de flexion 3-points et sur le mode de rupture. Plusieurs hauteurs de la couche en BFM égales à 30, 60 et 80 mm respectivement, à partir de la facette inférieure tendue de la poutre de section transversale droite de $15 \times 15 \text{ cm}^2$ ont été considérées. Le but consiste à optimiser la conception des éléments de structure en BFM, en réduisant la quantité de fibres à incorporer dans la matrice béton (économie), en incorporant les fibres juste dans les parties susceptibles d'assurer un seuil de résistance acceptable de l'élément prismatique.

Les résultats obtenus montrent que la résistance à la traction par flexion est influencée par la présence des fibres. Dans notre étude, elle est fonction de la hauteur de la couche armée de fibres métalliques. En effet, pour $h_{\text{BAF}} = 30, 60 \text{ et } 80 \text{ mm}$, l'augmentation est respectivement égale à 16,2% ; 20,6% et 15,53%. L'analyse des résultats permet de conclure que la hauteur optimale de la couche en béton de fibres pour un meilleur rendement, varie entre $0,28 h_t$ à $0,34 h_t$.

Le mode de rupture observé est fragile pour tous les spécimens, tels qu'illustrés par les figures III.6 et III.7. Cependant pour les poutres armées de fibres métalliques, une légère ductilité est observée juste avant la rupture des spécimens testés.

les approches composites de modélisation des bétons de fibres sont des approches approximatives qui ne tiennent nullement compte de la morphologie du matériau, en particulier le matériau béton armé de fibres.

C'est des modèles empiriques qui ne tiennent pas compte de l'interface fibres-matrice ce qui peut influencer sur le mode de fissuration et rupture, comme par exemple la

décohésion partielle ou totale. Car l'état de l'interface au moment de la fissuration influe sur la forme des équations constitutives.

En perspectives, il est recommandé de poursuivre le travail:

- en considérant plusieurs fractions de fibres,
- en utilisant d'autres dimensions normalisées des poutres,
- en combinant les fibres métalliques et le ferrailage traditionnel;

en considérant l'approche de calcul par les états d'équilibre des sections armées de fibres métalliques, basée sur les principes de calcul de la résistance des matériaux, en établissant les relations d'équilibre basées sur l'hypothèse des sections planes et en utilisant les caractéristiques mécaniques des constituants en l'occurrence le béton, les fibres métalliques, obtenues expérimentalement, pour formuler les expressions des éléments de réduction, tel que : le moment de rupture.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01] Rossi, P., Les bétons de fibres métalliques. Presse de l'ENPC. 1998.
- [02] Casanova, P. Bétons renforcés de fibres métalliques : du matériau à la structure. Etude expérimentale et analyse du comportement de poutres soumises à la flexion et à l'effort tranchant. Matériaux. Thèse Doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1995, 225 pages.
- [03] DJEBALI, S, (2011). "Caractérisation des éléments de structures en béton de fibres métalliques". Doctorat en Génie Mécanique- Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou, 2011.
- [04]. FRITIH. Y. (2009). "Apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'éléments en béton autoplaçant armé". Doctorat en génie civil- Université de Toulouse, 2009.
- [05]. BOUZEROURA, M., (2003) "Etude du comportement du béton de fibres ondulées. Proposition d'une relation simplifiée contrainte-déformation". Magister en génie civil- Université de Tizi-Ouzou, 2003.
- [06] Ben Boudjema. K., Djerroud. M., Moussaoui. S., 'Influence des fibres métalliques (issues de l'unité BCR) sur le comportement mécanique et physico-chimique des mortiers, Mémoire de Master en Génie Civil, Univ. Bejaia 2013
- [07]. LÖFGREN I., (2005) "Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction -a fracture mechanics approach to material testing and structural analysis, PhD-thesis, Department of Civil and Environmental Engineering Structural Engineering", CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Göteborg, Sweden.
- [08] A.E.Naaman ' Fiber reinforcement for concrete' Concrete International : Design and Construction, Vol 7, N°3, pp. 21-25, 1985
- [9] J.P.Romualdi, G.B. Baston, 'Mechanics of crack arrest in concrete', Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol 89, EM3, pp: 147-168, June 1963.
- [10] K. Ait tahar , ' Etude experimentale des poutres combinées en béton de fibres', Annales du Batiment et des travaux publics, Série bisemestrielle, N°3, Juin 2000 ;
- [11] Z.Zhan, ' Contribution au dimensionnement des pieux en béton de fibres ', These de Doctorat, Univ. Orléans, 1991,
- [12] Setti F. 1, Ezziane K. 1, Setti B, ' Effet des fibres métalliques sur certaines propriétés mécaniques du béton renforcé de fibres' IVème SNMPE, 15, 16 Mai 2012 Université M'Hamed BougaraBoumerdès

- [13] Houari, H., "contribution à l'étude du comportement béton renforcé de fibres métalliques soumis à l'action des charges maintenues et cycliques ", Thèse de Doctorat, INSA de Lyon, 1993, 244p.
- [14] LAROUCI. B., 'Contribution a l'étude du comportement mécanique de béton des fibres métalliques (les copeaux de récupérations), Mémoire de Master, Univ. Adrar, Mai 2017
- [15] HOLCIM (SUISSE) SA, Concevoir et mettre en œuvre des bétons durables, Guide pratique du béton, 6ème édition (français, édition Suisse), janvier 2015
- [16] J.M. Berthelot « Matériaux composites, comportement mécanique et analyse des structures » Edition. Lavoisier, (2005), ISBN: 2-7430-0771-0. pp 72.
- [17] ARABI N., 'Contribution à l'étude de comportement mécanique du composite ciment – verre et durabilité des fibres de verre', Thèse de Doctorat, Univ. Annaba, 2006.
- [18] Swamy. R.N & Mangat P.S., 'A theory of flexural strength of steel-fiber reinforced composite', Cement and concrete research, Vol 4, pp: 313- 320, 1974.