



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

**FACULTÉ : GENIE CIVIL ET ARCHITECTURE
DÉPARTEMENT : GENIE CIVIL**

MÉMOIRE DE MASTER

**Présenté par : BENDJEDDOU Abdeldjalil Mohammed Charafeddine
& FERROUGA Mohamed**

**DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES
FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : STRUCTURE**

Thème

**Etude de l'effet de l'ajout des fibres métalliques sur le
comportement mécanique des poutres en béton autoplaçant armé**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
Mr. KHENFER Mohamed Mouldi	Professeur	Président
Mme. BENDJILLALI Khadra	M.C.A	Examinatrice
Mr. KROBBA Benharzallah	M.A.A	Rapporteur
Mr. MERRAH Ahmed	M.C.A	Co-rapporteur

Promotion : Juin - 2019

REMERCIEMENTS

TOUT D'ABORD, NOUS TENONS À REMERCIER **ALLAH** LE TOUT
PUISSANT DE M'AVOIR DONNÉ LA FORCE ET LE COURAGE DE MENER
À BIEN CE MODESTE TRAVAIL,

NOUS TENONS À REMERCIER TOUS CEUX ET CELLE QUI ONT
CONTRIBUÉ À FINALISER CE MODESTE TRAVAIL.

NOUS TENANT À REMERCIER SINCÈREMENT MONSIEURS,
BENHARZALLAH KROBBA ET **MERRAH AHMED**, QUI, EN TANT
QUE DIRECTEURS DE MÉMOIRE, SE SONT TOUJOURS MONTRÉS À
L'ÉCOUTE ET TRÈS DISPONIBLE TOUT AU LONG DE LA RÉALISATION
DE CE MÉMOIRE, AINSI POUR L'INSPIRATION, L'AIDE ET LE TEMPS
QU'ILS ONT BIEN VOULU NOUS CONSACRER ET SANS QUI CE
MÉMOIRE N'AURAIT JAMAIS VU LE JOUR.

NOUS TENONS À REMERCIER LES MEMBRES DU JURY : MR.
KHENFER - MME. **BENDJILLALI** D'AVOIR ACCEPTÉ D'ÉVALUER CE
MODESTE TRAVAIL.

ENFIN, NOUS TENONS À REMERCIER TOUS CEUX QUI ONT AIDÉ ET
ASSISTÉ DURANT MES ÉTUDES.

B. ABDELJALIL ET F. MOHAMMED

Dédicace

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

A mon exemple éternel, mon soutien moral et source
de joie et de bonheur, que dieu te garde dans son vaste
paradis, A la mémoire de mon père **Saidi Bendjeddou**

A la lumière de mes jours, la source de mes
Efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon
Bonheur ; à toi **maman**.

A mes sœurs **Amina Rabab Hadjer**

A ma chère **Keltoum** merci énormément pour ton
soutien plus que précieux, je t'aime de tout mon cœur

A tous mes amis

Bendjeddou Abdeldjalil Mohammed charafeddine

Je dédie ce modeste travail à

Mes très cher parent qui m'a soutenu et qui ma encouragé

tout au long de

Mes études qui est pour moi l'exemple dans la vie ; que dieu

les préservent

Mes frères : abdesamed, hakim,fares,ayoub

Mes chère amis :

abdelah,youcef,sidahmed,billel,redouane,hichem

Sans oublier la promo de topo

Mes voisins et toute ma grande famille

Tous mes amis , toute la promotion 2018-2019

Et tous ceux qui m'ont aidé de près ou le loin dans ce travail

Ferrouga Mohamed

RESUME

Résumé :

Le béton est le matériau le plus utilisé dans le domaine de la construction, mais il reste un matériau fragile sous l'effet des efforts des charges accidentelles (séisme, chocs, ...). Pour cette raison, des recherches considérables ont été menées pour améliorer les caractéristiques mécaniques en flexion et en compression par l'ajout de fibres dans un béton autoplaçant constitué de deux types de gravier 3/8 et 8.15, et deux types de sable, sable de dune et calcaire.

Dans ce cadre, notre objectif est d'étudier l'effet de l'ajout des fibres métalliques sur les propriétés mécaniques du béton. Des essais de compression sur des éprouvettes et de flexion de quatre points sur des poutres en béton de fibre ont été effectués.

Les résultats obtenus montrent que la résistance à la compression et à la flexion des bétons avec ajout de fibres métalliques est améliorée considérablement par rapport au béton témoin. De plus, on remarque aussi que la ductilité des bétons fibrés est améliorée par rapport au béton témoin.

Mots clés : BAP ; Fibres métalliques ; Compression ; Flexion ; Béton de fibre ; Ductilité.

Abstract:

Concrete is the most used material in the field of construction but it remains a fragile material under the effect of the efforts of the accidental loads (earthquake, shocks ...). For this reason, considerable researchs have been conducted to improve the mechanical flexural and compressive properties by adding fibers to a self-consolidating concrete consisting of two types of gravel 3/8 and 8/15. In addition, two types of sand, dune sand and limestone sand are used .

In this context, our objective is to study the effect of the addition of metal fibers on the mechanical properties of concrete. Compression tests were performed on specimens and four-point bending tests on fiber concrete beams.

The results obtained show that the compressive and flexural strength of concretes with the addition of metal fibers are considerably improved compared to control concrete. In addition, it is also noted that the ductility of fibered concrete is improved compared to control concrete.

Keywords: SCC; Metal fiber; Compression; Bending; Fiber concrete; Ductility.

الملخص:

الخرسانة هي أكثر المواد المستخدمة في مجال البناء لكنها تظل مادة هشّة تحت تأثير الأحمال العرضية (صدّات الزلازل ...). لهذا السبب، فإن نتائج هذه الدراسة لها أهمية كبيرة في مجال الهندسة الميكانيكية وخصائص الضغط عن طريق إضافة الألياف إلى الخرسانة ذاتية الدمك من نوعين من الحصى 8/3 و 15/8. ونوعان من الرمل رمال الكتبان الرملية والحجر الجيري.

في هذا السياق، هدفنا هو دراسة تأثير إضافة الألياف المعدنية على الخواص الميكانيكية للخرسانة. تم إجراء اختبارات الضغط على عينات واختبارات الانحناء من أربع نقاط على عوارض الخرسانة المصنوعة من الألياف. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن القوة الانضغاطية وقوة الانحناء للخرسانة مع إضافة الألياف المعدنية قد تحسنت بشكل ملحوظ. بالإضافة إلى ذلك، تجدر الإشارة إلى أن ليونة الخرسانة ذات الألياف المعدنية قد تحسنت بالمقارنة مع الخرسانة العادية.

كلمات مفتاحية: الخرسانة ذاتية الدمك; الياف معدنية; ضغط; إنحناء; خرسانة الالياف; ليونة.

TABLE DES
MATIERES

REMIRCIMENTS

DEDICACE

RESUME

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1- Introduction2

I.2- Définition d'un béton renforcé de fibres2

I.3- Types de fibres.....3

 I.3.1- Les fibres de verre 3

 I.3.2- Les fibres de polypropylène3

 I.3.3- Les fibres de carbone.....4

 I.3.4- Les fibres métalliques 4

I.4- Rôle des fibres4

I.5- Caractéristiques des fibres6

I.6- Domaines d'utilisation du béton de fibre.....7

I.7- Béton de fibres métalliques 10

 I.7.1- Action des fibres métalliques dans le béton..... 11

 I.7.2- Classification des fibres métalliques 12

 I.7.3- Différents types de fibres métalliques 12

 I.7.3.1- Les fibres d'acier 12

 I.7.3.2- Les fibres amorphes..... 13

 I.7.4- Paramètres liés à la mise en œuvre du béton de fibres métalliques 13

 I.7.5- Effet de l'incorporation des fibres métallique sur les principales caractéristiques du béton..... 14

I.8- Conclusion24

CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

II.1- Introduction25

II.2- Caractéristiques des composants25

 II.2.1- Gravier25

 II.2.1.1. Masses volumiques.....25

 II.2.1.2- Capacité d'absorption d'eau du gravier :26

 II.2.1.2- Analyse Granulométrique26

TABLE DES MATIERES

II.2.2- Sable.....	28
II.2.2.1 - Masses volumiques	28
II.2.2.2 - Capacité d'absorption d'eau du sable	30
II.2.2.3 - Essai d'équivalent de sable.....	29
II.2.2.4 - Analyse granulométrique	29
II.2.2.4 - Analyse minéralogique	31
II.2.3- Ciment.....	32
II.2.3.1- Composition.....	32
II.2.3.2- Analyses et caractérisation.....	33
II.2.4- Eau de gâchage.....	35
II.2.5- Adjuvant.....	35
II.2.6- Fibres.....	36
II.2.6.1. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres	37
II.3- Préparation des poutre en béton armé renforcée de fibres	38
II.3.1- Acier d'armature	38
II.3.1.1- Ferrailage des poutres	38
II.3.1.2- Prescriptions données par RPA99/version 2003	39
II.3.1.3- Armatures longitudinales et transversales	40
II.4- Techniques expérimentales	40
II.4.1- Fibres métalliques	40
II.4.2- Préparation du béton	40
II.4.2.1- Béton témoin.....	40
II.4.2.2- Béton avec fibres.....	41
II.4.3- Confections et cure des éprouvettes.....	41
II.4.4- Essais de caractérisation.....	42
II.5- Conclusion.....	49
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	
III.1- Introduction	51
III.2- Description des mélanges.....	51
III.2.1- Formulation d'un béton auto plaçant témoin BT	52
III.2.1.1- Méthode de formulation et hypothèses	52
III.2.1.2- Optimisation de dosage de super plastifiant :	53
III.2.1.3- Résultat de formulation de béton témoin.....	53

TABLE DES MATIERES

III.3- Optimisation du dosage en fibres métalliques pour la formulation d'un béton auto plaçant fibré	54
III.3.1- Les proportions des constituants des bétons fibrés	54
III.3.2. Effet de la longueur et de dosage en fibres sur les propriétés mécaniques :	56
III.4- Etude de la ductilité des poutres en béton armé renforcée par des fibres métalliques....	62
III.4.1- Comportement à la flexion 4 points des bétons BTCD et BA	63
III.4.1.1- Poutre en Béton armé Témoin à base de sable Calcaire et Dunaire (BTCD)....	63
III.4.1.2- Poutre en Béton armé à base de sable Alluvionnaire (BA)	64
III.4.2- Comportement à la flexion 4 points des bétons fibrés BCDF10, BCDF20, BCDF40	64
III.4.2.1- Poutre en Béton armé Témoin à base de sable Calcaire et Dunaire renforcé par des fibres de 10mm de longueur (BCDF10)	65
III.4.2.2- Poutre en Béton armé Témoin à base de sable Calcaire et Dunaire renforcé par des fibres de 20mm de longueur (BCDF20)	66
III.4.2.3- Poutre en Béton armé Témoin à base de sable Calcaire et Dunaire renforcé par des fibres de 40mm de longueur (BCDF40)	67
III.4.3- Résultats de la ductilité en déplacement :	68
III.5 Conclusion.....	70
CONCLUSION GENERALE	71
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

LISTE DES
FIGURES

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure I.1- Fissuration dans le béton sans et avec fibres.....	5
Figure I.2- Comportement de charge–déformation de béton avec et sans fibres.....	5
Figure I.3- Différents facteurs influant sur le comportement mécanique d’un béton renforcé de fibres.....	6
Figure I.4- Contrôle des fissures dans les bétons	10
Figure I.5- Processus d'action des fibres dans le comportement du béton.....	11
Figure I.6- Courbe contrainte déformation du béton.....	11
Figure I.7- Déformation d’une tour de grande hauteur..	15
Figure I.8- Notion de ductilité. Idéalisation de la courbe force–déplacement.	16
Figure I.9- Influence du % des fibres sur la résistance à la compression du béton de fibres..	17
Figure I.10- Influence de la longueur et le pourcentage de fibres sur la résistance à la compression du béton de fibres	18
Figure I.11- Contribution des fibres dans le comportement à la traction.....	19
Figure I.12- Variation de la résistance à la flexion en fonction du % en masse des fibres de 40mm et méthode de cure	20
Figure I.13- Variation de la résistance à la flexion en fonction du % en masse des fibres de 60mm et méthode de cure	20
Figure I.14- Influence du % de fibres sur la résistance à la flexion	21
Figure I.15- Courbes charges – flèches	22

CHAPITRE II : CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE :

Figure II.1- Gravier 8/15.....	25
Figure II.2- Gravier 3/8.....	25
Figure II.3 - Courbe granulométrique du gravier G3/8 et G8/15.....	27
Figure II.4 - Sable de dune.....	38
Figure II.5 - Sable de alluvionnaire	28
Figure II.6 - Sable de calcaire	28
Figure II.7 - Essai Equivalent de sable.	29
Figure II.8 - Analyse granulométrique du SD SA SC.....	31
Figure II.9 - Diffractogramme du sable calcaire.....	31
Figure II.10 - Diffractogramme du sable de dune.....	32
Figure II.11 - SIKA VISCORETE TEMPO 12.	36
Figure II.12 - Les fibres utilisé	37
Figure II.13 - Loi de comportement à la traction des fils d’attache.....	38

Figure II.14 - Presse de traction de 5KN	38
Figure II.15 - Ferrailage des poutres.....	40
Figure II.16 - Coulage dans des moules prismatiques (7x7x30cm ³).....	42
Figure II.17 - Utilisation le cône d'ABRAMS pour la détermination de l'étalement.....	43
Figure II.18 - Appareil d'Auscultation dynamique (ultra sonore).	44
Figure II.19 - Presse d'écrasement à la compression.....	45
Figure II.20 - Schématisation du dispositif de flexion 3 points.....	46
Figure II.21 - Poutres en Béton de fibres.....	47
Figure II.22 - Schématisation du dispositif de flexion 4 points.....	48

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

Figure III. 1 -effet de la longueur et pourcentage des fibres sur la resistance a 7 jours	56
Figure III. 2 -effet de la longueur et pourcentage des fibres sur la resistance a 28 jours	56
Figure III. 3 - Mode de rupture de BT et BL40P10.....	57
Figure III.4 effet de la longueur et pourcentage des fibres sur la traction par flexion a 7 jours	58
Figure III. 5 -effet de la longueur et pourcentage des fibres sur la traction par flexion a 28 jours	58
Figure III. 6 - Couture des fissures	59
Figure III. 7 -effet de la longueur et de pourcentage des fibres le module d'élasticité a 7 jours	61
Figure III. 8 -effet de la longueur et de pourcentage des fibres le module d'élasticité a 28 jours	61
Figure III. 9 -courbe force-flèche à mi- travée du béton témoin	63
figure III.10 présente la courbe force-flèche à mi- travée du béton à base de sable alluvionnaire (BA). Figure III. 10-courbe force-flèche à mi- travée du béton à base de sable alluvionnaire	64
Figure III. 11 -courbe force-flèche a m i-trvée du beton fibré BCDF10	65
Figure III. 12 - courbe force-flèche à mi- travée du béton fibré de 20mm à base de sable calcaire et dunaire BCDF20.....	66
Figure III. 13 -courbe force-flèche à mi- travée du béton fibré de 40mm à base de sable calcaire et dunaire BCDF40.....	67
Figure III. 14 -l'évolution de la ductilité en déplacement des différentes poutres	68

LISTE DES
TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I. 1- Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres.	7
Tableau I. 2- Domaines d'application privilégiés par type de fibres.	8
Tableau I. 3- Intérêt apporté par domaines d'application.	9

CHAPITRE II : CARACTÉRISATION DES MATÉRIEAUX ET ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Tableau II.1- Masses volumiques apparentes et spécifiques des graviers utilisés.....	26
Tableau II.2 - Coefficient d'absorption d'eau des graviers utilisés.	26
Tableau II.3- Analyse granulométrique par tamisage de gravier G3/8 et G8/15.....	27
Tableau II.4- Masses volumiques apparentes et spécifiques des sables utilisés.....	28
Tableau II.5 coefficients d'absorption	28
Tableau II.6- Equivalent de sable utilisé.....	29
Tableau II.7- Analyse granulométrique par tamisage des sables	30
Tableau II.8- Analyses chimiques de ciment.....	33
Tableau II.9- Propriétés physiques et mécaniques du ciment.....	35
Tableau II.10- Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres utilisées.....	37

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau III. 1- Désignations de différents bétons.....	51
Tableau III. 2- Optimisation de dosage de super plastifiant pour un m ³ du béton	53
Tableau III. 3- Composition de béton témoin pour un m ³	54
Tableau III. 4- Quantités des constituants des bétons fibrés (Kg).....	55
Tableau III. 5- Module d'élasticité dynamique	60
Tableau III. 6- Pourcentages des constituants de chaque poutre.....	62
Tableau III. 7- Coefficient de ductilité de chaque poutre.....	68

INTRODUCTION

GENERALE

Eviter des ruptures fragiles est un des objectifs de toute conception en béton armé. Ce type de rupture est encore plus fréquent dans le cas d'un béton de résistance élevée, du fait que la ductilité est inversement proportionnelle à la résistance. Cependant, avec l'amélioration de ses propriétés mécaniques, ce matériau devient fragile et explosif, et donc moins ductile à la rupture. Un tel comportement fragile du béton est particulièrement troublant dans les régions sismiques et peut causer des dégâts importants en vies humaines et en infrastructures, même en présence d'armatures de confinement.

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.

Pour bénéficier pleinement des avantages de ce matériau telles que l'augmentation de sa résistance à la compression, de sa résistance à la traction et de sa résistance au cisaillement, même si l'augmentation de ces deux dernières ne sont pas en proportion avec la première, la ductilité du matériau béton doit être améliorée.

En couturant une fissure, les fibres absorbent partiellement la force de traction et donc le béton fissuré ne perd pas complètement sa résistance à la traction après fissuration. Une résistance de traction résiduelle est maintenue dans le béton contenant des fibres après fissuration, contrairement au béton ne contenant pas de fibres.

De ce qui précède, L'objectif de notre mémoire est d'améliorer les caractéristiques mécaniques, tel que la résistance en compression du matériau, et essentiellement le comportement du matériau vis à vis de la traction, ainsi que l'amélioration de sa ductilité et son comportement après fissuration.

Pour atteindre cet objectif, le présent travail permet de mettre en évidence les aspects positifs de l'ajout de fibres métalliques au béton sous sollicitations de compression, flexion et ductilité.

Notre mémoire est subdivisée en trois chapitres :

- I. Le premier chapitre est consacré à une revue bibliographique sur le béton fibré
- II. Le deuxième chapitre est dédié à la caractérisation des matériaux et le matériel utilisé
- III. Le troisième chapitre traite les résultats obtenus et leur interprétation

Notre mémoire est clôturé par une conclusion générale et des perspectives

CHAPITRE 1

I.1- Introduction

Par ses nombreuses qualités, le béton se prête à de multiples conceptions. Non seulement il peut être moulé dans des formes les plus diverses, mais il a une excellente résistance à la compression, une grande rigidité.

Deux caractéristiques ont néanmoins limité son utilisation, il est fragile et résiste mal à la traction.

Ce digest décrit les propriétés générales et l'utilisation en construction du béton renforcé de fibres. La promesse d'éléments plus minces, plus résistants, plus légers et moins sujets à la fissuration par la simple addition d'une petite quantité de fibres rend cette innovation très intéressante.

Les matériaux composites sont reconnus comme étant la combinaison de deux ou plusieurs corps de nature et de composition différentes, et qui, contrairement aux composés chimiques, possèdent des zones identifiables à chacun de ces corps. Ainsi, les matériaux constituants ne sont qu'entremêlés laissant voir une interface ou encore une zone de transition.

Pour ce qui est des matériaux composites, ils sont constitués d'un corps fibreux protégé et supporté par une matrice. Ils peuvent supporter de plus grandes contraintes que leurs matériaux constitutifs. Puisque la matrice et les fibres interagissent, redistribuant ainsi les contraintes de la charge externe ; on parle alors de synergie. La performance des bétons renforcés dépend des matériaux constituants, de l'orientation, de la longueur, de la forme, du pourcentage et de la composition des fibres, des propriétés mécaniques de la matrice, de l'interaction fibre-matrice et de l'utilisation prévue [1] .

I.2- Définition d'un béton renforcé de fibres

On appelle béton de fibres, un béton dans lequel on a incorporé une armature par inclusion directe de fibres isolées au moment du gâchage ou de la projection. Les fibres sont assimilables à un granulats spécial de forme très allongée et de forte résistance à la traction, susceptible d'améliorer légèrement la résistance à la traction du matériau et de ralentir la propagation des fissures. En pontant les fissures, les fibres améliorent le comportement post fissuration de la matrice en maintenant une forte portance pendant l'accroissement des déformations [2].

La répartition des fibres dans la masse du béton permet de différer la rupture fragile de celui-ci en traction, en s'opposant à la propagation des microfissures. Grâce à leurs propriétés,

elles permettent de mieux mobiliser la résistance intrinsèque du béton avec comme conséquence une réduction des sections, de réaliser des pièces minces de grandes dimensions et de donner une plus grande liberté architecturale.

I.3- Types de fibres

Au fil des années, des fibres de toute nature ont été expérimentées pour renforcer des bétons et des mortiers. La compatibilité chimique avec la pâte de ciment, et les caractéristiques mécaniques sont les qualités à atteindre des fibres. Les fibres sont classées selon leur origine (synthétiques, naturelles ou artificielle), leurs dimensions (macro ou microfibrés), leur forme (ondulée, droite, ... etc.) et leurs propriétés mécaniques. Le choix des fibres dépend de l'usage recherché (pièces minces massives, renforcement de pâte pure de matériau de béton, réparation de structures, etc.), de leurs propriétés (résistance et module plus ou moins élevés, adhérence plus ou moins bonne...) de leur disponibilité et de leur prix. Plusieurs types de fibres ont fait leur preuve dans le renforcement du béton et on peut distinguer principalement celles qui sont citées ci-dessous, [3].

I.3.1- Les fibres de verre

Depuis des années, les fibres de verre ont montré leur efficacité, et cela, en raison de leurs qualités mécaniques, en particulier de rigidité de leur matériau constitutif. Ces fibres doivent être soumises à un traitement préalable avant de l'introduire dans le béton. Il s'agit soit de les traiter par ensimage, soit être protégées au moment de leur emploi par ajout dans la gâchée de polymères, soit enfin avoir été fabriquées avec un verre au zirconium. Cette dernière solution étant la plus pratique. Les fibres de verre présentent d'excellentes caractéristiques, leur résistance à la traction est supérieure à celle de l'acier et leur coefficient de dilatation est sensiblement égal à celui de la pâte de ciment. Leur domaine d'application est essentiellement la fabrication de panneaux très minces, inférieurs à 20 mm d'épaisseur, de tuyaux d'assainissement, d'éléments décoratifs préfabriqués, etc.

I.3.2- Les fibres de polypropylène

Les fibres de polypropylène sont tressées selon une trame lâche, ce qui facilite leur dispersion dans le béton. Ces fibres ont la possibilité d'améliorer la cohésion du béton projeté, ou encore couvrir des fissures dans le béton frais. Leur incorporation dans le béton constitue un moyen efficace pour limiter l'éclatement de surface du béton soumis à l'incendie. En effet, la chaleur les fait fondre, et l'espace qu'elles occupaient constitue alors un réseau de drains permettant à l'eau libre du béton de s'échapper sous forme de vapeur. Leur principal avantage pourrait résider dans leur insensibilité à la corrosion.

I.3.3- Les fibres de carbone

Les fibres de carbone, dénommées aussi fibres de graphite (celui-ci correspondant à une structure cristallographique très précise), sont d'autant plus résistantes que les plans de graphite sont orientés parallèlement à l'axe de la fibre. Elles sont plus coûteuses que la fibre de verre et leur utilisation se limite quasiment au renforcement des matériaux constitués de liant d'origine synthétique peu utilisés dans la construction.

I.3.4- Les fibres métalliques

Les fibres métalliques, notamment d'acier, ont fait l'objet de nombreuses recherches pour développer leurs emplois dans le béton. Elles présentent une très bonne compatibilité avec le béton. Elles confèrent au béton une bonne résistance à la traction et à la flexion. Les bétons de fibres métalliques sont utilisés dans les dallages et les sols industriels (sur sol ou sur pieux), pour la fabrication de voussoirs de tunnels, de coques ou la confection de pieux ou pour réaliser des bétons projetés (pour la construction ou la réparation de revêtements de tunnels et de galeries et le confortement de parois de soutènement en béton), pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués ainsi que pour la confection de mortier de réparation ou de scellement. Les recherches ont aussi montré leur emploi dans le béton de structure. Ces fibres sont utilisées pour améliorer le comportement mécanique d'un béton de structure. En effet, elles contribuent à la réduction de la largeur des fissures dans la matrice béton (limitation de l'ouverture des fissures et répartition de la micro fissuration).

Elles se substituent partiellement aux armatures traditionnelles. Dans certains cas, pour des bétons subissant de faibles sollicitations, elles peuvent même remplacer complètement les armatures. Elles sont, en particulier, utilisées pour réduire les risques de fissuration, espacer les joints de retrait, améliorer la résistance en traction et au choc. Elles confèrent au béton une certaine ductilité et une plus grande résistance à la rupture. Pour les environnements très agressifs, il est préconisé d'utiliser des fibres à base de métal inoxydable comme la fonte amorphe, [4]. Dans notre projet, on s'intéresse aux fibres métalliques dont le détail sera porté dans les paragraphes suivants.

I.4- Rôle des fibres

Dans les premières études, les chercheurs ont essayé, par l'incorporation de fibres dans le béton, d'augmenter ses caractéristiques mécaniques comme la résistance à la compression ou la résistance à la flexion, mais les résultats obtenus n'étaient pas ceux escomptés.

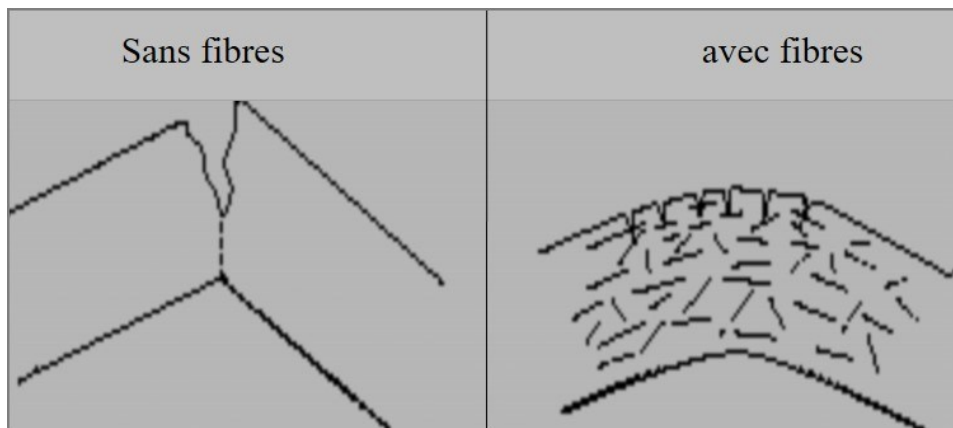


Figure I.1- Fissuration dans le béton sans et avec fibres [5].

Il est à noter que le rôle principal des fibres dans un matériau peut être lié à deux points essentiels :

- ✓ Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures, comme il est indiqué dans la figure I.1.
- ✓ La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes voir figure I.2.

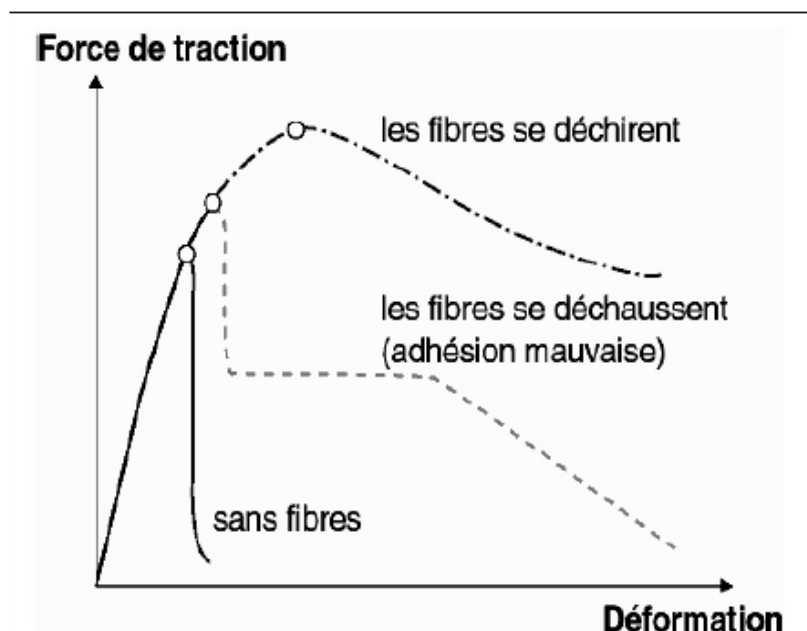


Figure I.2- Comportement de charge–déformation de béton avec et sans fibres [5].

On peut dire donc que les fibres ont des effets sur les performances mécaniques des bétons dans tous les modes de rupture, [5]. La figure I.3 illustre les différents facteurs influant sur le comportement mécanique d'un béton renforcé de fibres.

Il est alors extrêmement difficile de généraliser l'apport exact des fibres par rapport à un béton ordinaire car le nombre des paramètres influant sur son comportement est considérable. Si le module d'élasticité de la fibre est élevé par rapport au module d'élasticité du béton ou du mortier, les fibres reprennent une part des charges, augmentant ainsi la résistance à la traction du matériau.

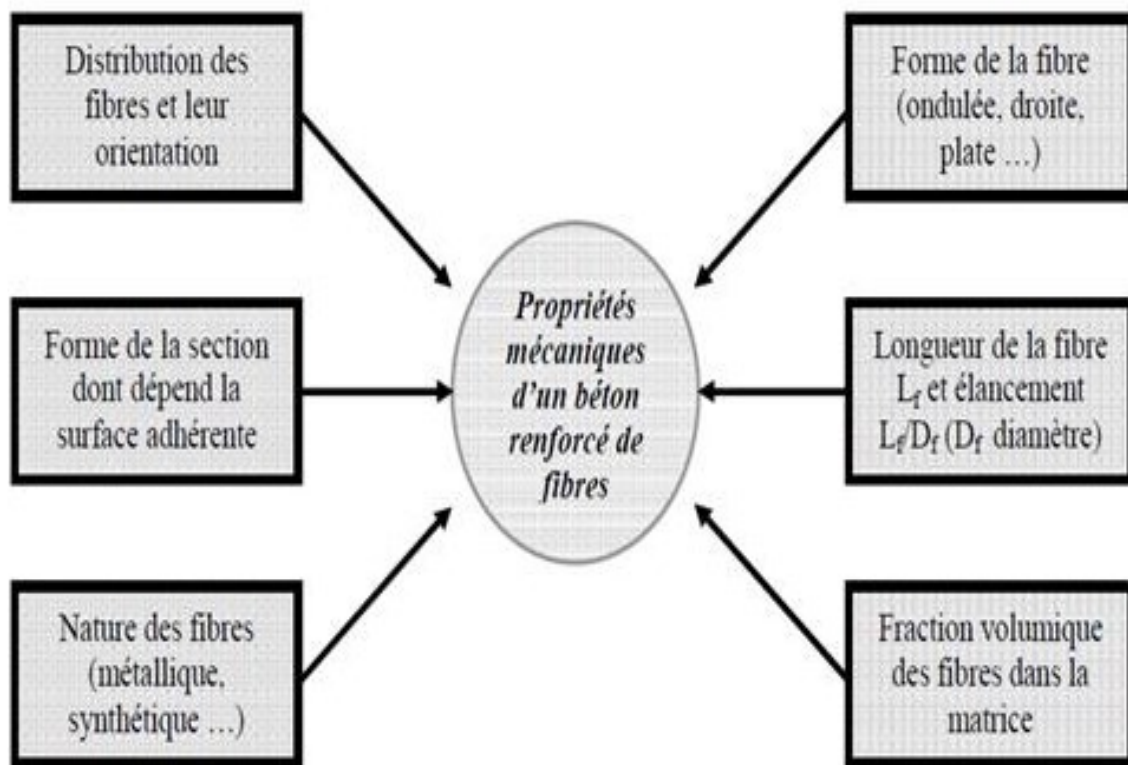


Figure I.3- Différents facteurs influant sur le comportement mécanique d'un béton renforcé de fibres [6].

I.5- Caractéristiques des fibres

Chaque type de fibre présente des caractéristiques et des propriétés, dimensions (diamètre et longueur), formes (fils lisses, crantés, ondulés, etc.), résistance mécanique (traction), durabilité dans la matrice cimentaire. Pour améliorer les performances mécaniques des bétons, les fibres doivent avoir une bonne capacité de déformation, c'est –à-dire posséder un module d'élasticité plus élevé que la matrice béton. Elles doivent être relativement longues et fines, flexibles sans être fragiles pour éviter leur destruction lors du malaxage, faciles à incorporer et sans danger pour la main d'œuvre. Leur forme ou leur état de surface doit faciliter l'accrochage afin de bien adhérer à

la pâte de ciment. Sans oublier leur prix de revient doit rester raisonnable pour un dosage le plus faible possible. La résistance en traction est parmi les principales caractéristiques améliorées. Cette amélioration dépend de l'adhérence des fibres dans le sens des contraintes. C'est la forme de la fibre et son état de surface qui sont responsables de la qualité de l'adhérence. Le dosage, la dispersion des fibres, aléatoire ou orientée dans une direction préférentielle, fixent l'aptitude du béton à résister à des efforts bien déterminés. La modification de déformabilité du béton avant rupture, qui en fait un matériau ductile, permet d'atteindre une déformation de l'ordre de 1 % pour des bétons de fibres, alors qu'elle ne dépasse guère 1 ‰ pour des bétons sans fibres.

L'augmentation du rapport longueur/diamètre des fibres accroît habituellement la résistance à la flexion et la ténacité du béton. Les valeurs de ce rapport sont généralement comprises entre 100 et 200, car des fibres de trop grande longueur ont tendance à former des boules dans le mélange (formation d'oursins), créant ainsi des problèmes d'ouvrabilité. Comme les fibres sont éparpillées au hasard dans le béton ; toutefois, si les fibres soient alignées dans la direction des contraintes en service, on obtient de meilleures résistances en traction et en flexion.[1]

Tableau I.1- Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres [1].

Fibre	Diamètre en μm	Densité	Allongement de rupture en %	Module d'élasticité, en GPa	Résistance en traction, en GPa
Verre	9-15	2,6	2-3,5	80	2-3
Polypropylène	7,5	0,9	20,0	5	0,5
Carbone	7,5	1,7-2,0	0,5-1,0	300-400	2-3
Acier	5-500	7,8	3-4	200	1-3

I.6- Domaines d'utilisation du béton de fibre

La recherche et le développement ont permis d'appliquer un concept de renforcement structural à différents types d'ouvrages en béton. De par leurs propriétés, les fibres trouvent un vaste domaine d'applications où il faut réduire les risques de fissuration, augmenter la résistance aux impacts et tirer parti de l'amélioration de la performance du béton pour optimiser le dimensionnement des ouvrages.

Le béton fibré est utilisable dans tous les domaines du génie civil, aussi bien dans les constructions industrielles, commerciales et institutionnelles que résidentielles.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I.2 - Domaines d'application privilégiés par type de fibres. [4]

<i>Domaines d'application privilégiés par type de fibres</i>			
<i>Type de fibres</i>	<i>Dosage courant</i>	<i>Domaine d'application privilégié</i>	<i>Exemples d'application</i>
<i>Fibres métalliques</i>	0,5 à 2 % en volume 40 à 160 kg/m ³	Renfort pour bétons structurels et armature structurelle	<ul style="list-style-type: none"> - Dallages, sols industriels, planchers, dalles de compression - Éléments préfabriqués – voussoirs de tunnels, poutres, conteneurs, tuyaux - Bétons projetés en travaux souterrains, stabilisation de pente et ouvrages d'assainissement - Pieux de fondation, semelles filantes
<i>Fibres polypropylène</i>	0,5 à 2 % en volume 0,5 à 2 kg/m ³	Limitation de la fissuration liée au retrait Amélioration de la tenue au feu des bétons	<ul style="list-style-type: none"> - Dallage - Voussoirs de tunnels - Revêtement d'ouvrages souterrains - Mortiers projetés - Parements esthétiques
<i>Fibres de verre</i>	1 à 2 %	Réalisation d'éléments préfabriqués très minces	<ul style="list-style-type: none"> - Parements architectoniques - Panneaux de façade - Éléments décoratifs

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I.3- Intérêt apporté par domaine d'application[7].

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

I.7- Béton de fibres métalliques

I.7.1- Action des fibres métalliques dans le béton

Depuis que le béton de fibres a été conçu, de nombreux travaux ont montré que l'insertion de fibres métalliques dans une matrice de béton permet d'augmenter les caractéristiques mécaniques, comme la résistance à la compression ou la résistance à la flexion du composite résultant. Cependant, ce type de béton n'est pas considéré comme un substitut aux bétons traditionnels, mais comme un matériau nouveau qui devient intéressant pour la conception de structures performantes. Avec de faibles dosages en fibres (exemple 1% en volume), les bétons de fibres obtenus présentent des performances intéressantes. De plus, leur coût est relativement bas au regard de certaines applications spécifiques.

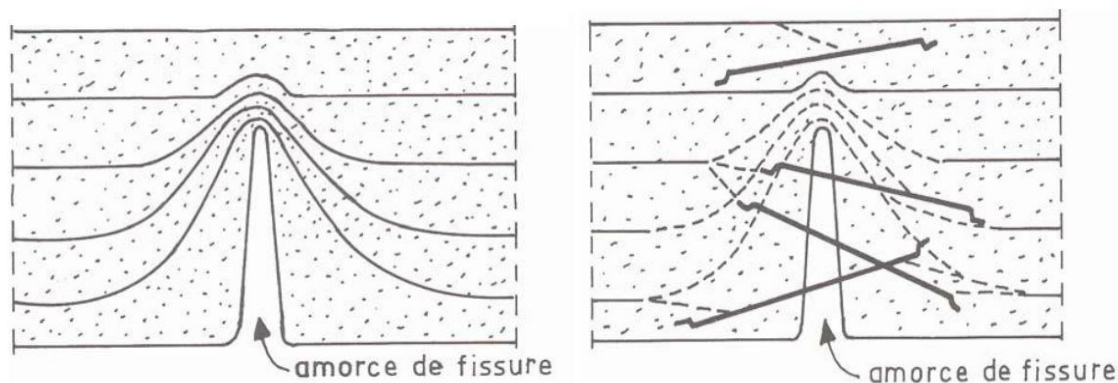


Figure I.4- Contrôle des fissures dans les bétons

Quand une contrainte de traction est exercée dans un béton (sans fibres) fissuré, des lignes de tension vont s'infléchir parce que la charge ne peut pas être transmise par la fissure et les tensions aux extrémités de celle-ci augmentent. A cet effet, la résistance à la traction, relativement faible du béton est très rapidement atteinte et dépassée. Par conséquent ; une fissure se crée et se propage sans empêchement et donne lieu à une rupture fragile. Tandis que dans le cas d'un béton fibré, une partie de la force de traction peut être transmise à travers cette fissure par les fibres qui en assurent la « couture », [8].

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Ces deux principales caractéristiques ont fait l'objet de plusieurs recherches dans le monde et cela dans les deux échelles : le matériau et la structure. Pour mieux comprendre l'action des fibres, considérons une pièce de béton renforcé de fibres soumise à un effort de traction, comme il est montré dans la figure I.5.

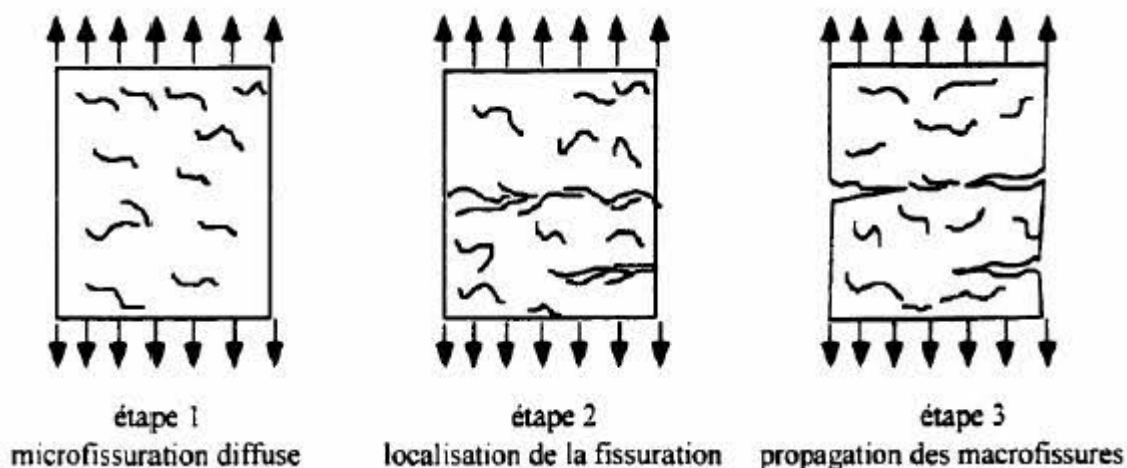


Figure I.5- Processus d'action des fibres dans le comportement du béton [8].

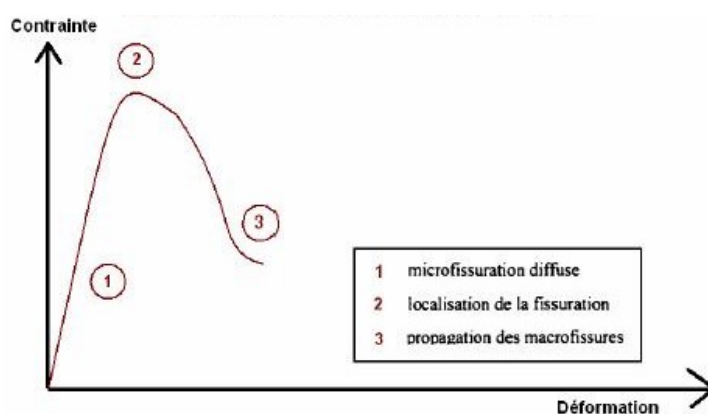


Figure I.6- Courbe contrainte déformation du béton [10]

On peut distinguer 3 phases sur la courbe contrainte – déformation du béton qui représente son comportement (Figure I.6). Une première phase où l'on observe la formation de microfissures qui se développent très tôt, généralement dans des zones de moindre résistance mécanique comme l'interface entre les granulats et la matrice (auréoles de transition). La longueur de ces fissures est de l'ordre du diamètre des granulats, leur largeur de l'ordre du micron. Durant cette phase, les fibres sont inactives. La deuxième phase correspond au développement des macro-fissures qui

résultent de la coalescence des microfissures. A ce stade, des contraintes sont transférées aux fibres qui contribuent à limiter la propagation des fissures. Cette étape est suivie par la propagation d'une macro-fissure (troisième phase) séparant l'éprouvette en deux blocs, et provoquant ainsi la ruine de l'éprouvette [9][10].

I.7.2- Classification des fibres métalliques

Les fibres métalliques peuvent être classées selon plusieurs catégories. Selon le matériau de base de leur fabrication, on peut distinguer quatre groupes :

- ✓ Groupe I : Fil tréfilé à froid
- ✓ Groupe II : Acier laminé découpé
- ✓ Groupe III : Extrait de fonte amorphe
- ✓ Groupe IV : Autres

Afin d'améliorer l'ancrage, les fibres métalliques peuvent être soit droites, soit déformées et il est possible de distinguer les fibres :

- ✓ A crochets
- ✓ Ondulation
- ✓ Extrémités élargies
- ✓ Autres

I.7.3- Différents types de fibres métalliques

I.7.3.1- Les fibres d'acier

Conformément à la norme française NF EN 14889-1, les fibres d'acier sont des éléments droits ou déformées provenant de fil étiré à froid raboté, de tôle découpée, d'extraits de coulée, ou de blocs d'acier fraisés. Les fibres d'acier se rencontrent sous diverses formes, soit par leur mode de fabrication et on distingue les fibres copeaux de faible longueur, les fibres tréfilées, soit par les modes de traitement destinés à améliorer l'ancrage ou l'adhérence, comme les fibres ondulées ou crantées, les fibres déformées aux extrémités, les fibres aux extrémités écrasées en « tête de clou », etc. [11]. Sur le marché, les fibres d'acier les plus courantes ont des longueurs de 30 à 60 mm avec des diamètres de 0.4 à 1 mm ; quelquefois elles sont traitées contre la corrosion ou sont en acier inoxydable. Certaines d'entre elles, en acier doux écroui, d'une longueur de 25 à 60 mm, sont encollées par paquets de 10 à 30. Leur dispersion dans le malaxeur s'opère aisément et rapidement en évitant la formation d'oursins (ou boules de fibres).

I.7.3.2- Les fibres amorphes

Les fibres amorphes, appelées souvent les fibres de fonte, se présentent sous forme de rubans souples, coupés en longueur de 15 à 40 mm. Leur largeur est comprise entre 0.5 et 3 mm pour des épaisseurs de 20 à 40 microns. Ce ruban est obtenu par trempe d'un jet de métal liquide sur une roue en rotation à grande vitesse. Cette technique permet d'obtenir des rubans extrêmement minces. L'état amorphe de l'alliage et sa composition (teneur en chrome > 5 %) confèrent à ces fibres une bonne résistance à l'attaque par les acides et les chlorures. Plusieurs recherches, ont montré que la résistance à la flexion du béton renforcé de fibres de fonte ductile est indépendante de la longueur des fibres incorporées. Par contre, la résistance à la compression est légèrement augmentée par l'emploi de fibres de fonte courtes en raison d'une meilleure homogénéité du composite [12].

I.7.4- Paramètres liés à la mise en œuvre du béton de fibres métalliques

L'introduction des fibres métalliques dans le béton, dont la formulation est préalablement optimisée, exige certains paramètres, liés à la technologie de mise en œuvre adoptée et du type de structure. Ces spécificités peuvent se décliner de la manière suivante :

- ✓ L'orientation préférentielle des fibres ;
- ✓ Les effets de « voûte » ou d'écran ;
- ✓ Les effets de « cheminée » ;
- ✓ La relation entre le rapport longueur /diamètre de la fibre et la maniabilité du béton fibré.

❖ L'orientation préférentielle des fibres

L'orientation préférentielle des fibres est essentiellement causée par la mise en place du béton dans les moules ou les coffrages. Lors du coulage, les fibres s'orientent suivant l'axe de l'écoulement puis parallèlement aux parois, au fur et à mesure que le béton remplit le coffrage. Cette orientation préférentielle est donc inévitable au voisinage des parois (effet de paroi). La mise en œuvre et le compactage doivent être étudiés pour le béton considéré, en fonction de sa maniabilité qui diffère généralement de celle des bétons ordinaires sans fibres.

La vibration interne peut aussi mener à une orientation préférentielle des fibres suivant l'axe de vibration, ainsi qu'à de la ségrégation. L'utilisation de la table ou de l'aiguille vibrante conduit à une orientation préférentielle différente des fibres. Donc l'orientation a plusieurs origines qui sont principalement dues :

- ✓ La technique de mise en œuvre adoptée ;
- ✓ Les effets liés à l'écoulement du béton fibré.

❖ Les effets de « voûte » ou d'écran

Ces effets apparaissent lorsqu'un obstacle s'oppose au déplacement des fibres. A cet effet, les fibres peuvent s'accumuler et former un paquet, qui peut empêcher le déplacement des fibres entre elles et aussi celui des gros granulats. Ce phénomène permet de former ce qu'on appelle l'effet de l'oursin.

❖ Les effets de « cheminée »

Ce phénomène apparaît lorsqu'un béton de fibres est assez visqueux et contenant un pourcentage de fibres important (supérieur à 50 kg /m³), ainsi que dans le cas de l'utilisation de l'aiguille vibrante.

❖ Relation entre le rapport longueur /diamètre de la fibre et la maniabilité du béton

Des études ont montré que le rapport longueur /diamètre des fibres joue un rôle principal dans la maniabilité d'un béton fibré. Il a été montré que pour un dosage en fibres donné, plus ce rapport est grand plus la maniabilité du béton fibré est mauvaise, et plus le risque de formation de pelotes de fibres au sein de la matrice est grande.

I.7.5- Effet de l'incorporation des fibres métallique sur les principales caractéristiques du béton

❖ La ductilité

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 [13] (Figure. I.7), 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.

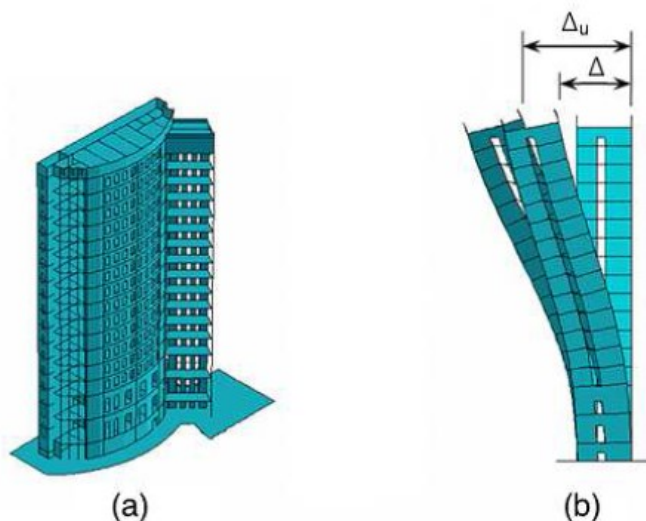


Figure I.7 : Déformation d'une tour de grande hauteur. (a) Vue en perspective. (b) Vue en coupe au droit du voile central[13].

Le diagramme force-déplacement idéalisé (Figure. I.8) et associé au comportement du bâtiment tour évoqué ci-avant montre que tant que le déplacement Δ_y n'est pas atteint, les armatures longitudinales en partie inférieure des abouts de voiles ne plastifient pas.

Lorsque le déplacement varie entre Δ et Δ_u , le bâtiment tour continue de fléchir sur toute la hauteur sous effort tranchant constant ou quasi-constant en plastifiant les armatures longitudinales.

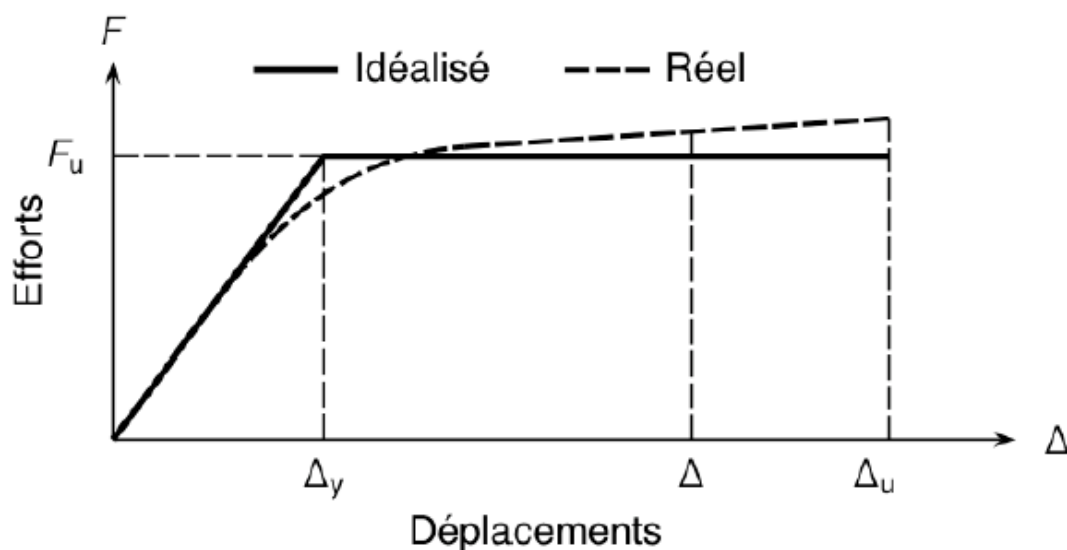


Figure I.8 : Notion de ductilité. Idéalisation de la courbe force-déplacement[13].

La ductilité du bâtiment traduit donc son aptitude à pouvoir se déformer dans l'état fissuré, la limite élastique des armatures tendues étant atteinte. De manière générale,

La grandeur adoptée pour quantifier la ductilité est le coefficient de ductilité qui a pour expression :

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad (I.1)$$

Où Δu (resp. Δy) est le déplacement correspondant à la déformation ultime (resp. Élastique) de l'un des matériaux [13].

❖ Résistance à la compression

Plusieurs recherches ont montré que la présence des fibres dans le béton influe peu sur sa résistance à la compression. Les fibres métalliques peuvent augmenter la résistance à la compression du composite d'environ 20 %, [14]. Néanmoins, la présence des fibres dans le béton augmente la déformation à la rupture et confère ainsi une plus grande ductilité au composite.

BEN YAHIA [15] , a trouvé que l'incorporation de fibres de fil d'attache dans la matrice béton apporte une amélioration de résistance à la compression lorsque le pourcentage de fibres est $V_f = 3\%$, et une diminution pour de forts pourcentages (figure I.9).

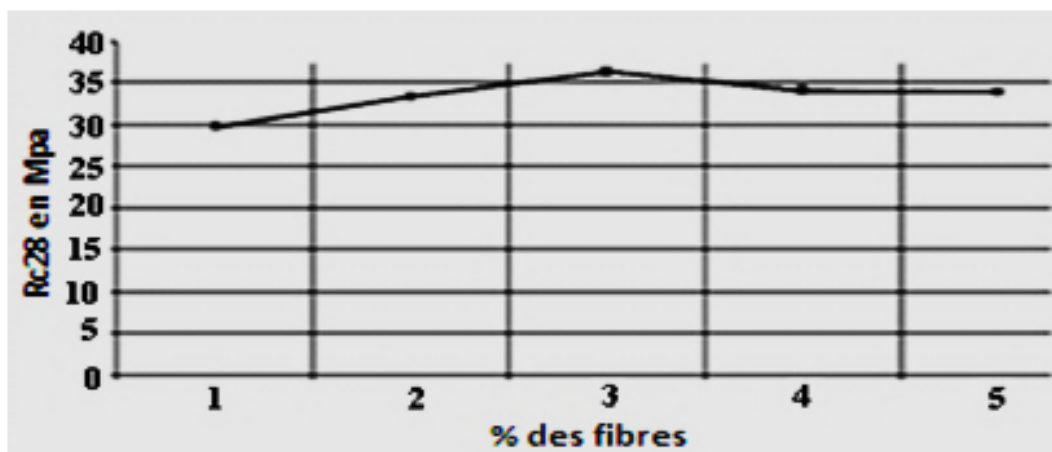


Figure I.9- Influence du % des fibres sur la résistance à la compression du béton de fibres [15].

RAHLI [16], a trouvé l'addition de fibres n'a pas d'influence significatif sur la résistance à la compression. Une légère variation de l'ordre de $\pm 3\%$ par rapport au béton témoin.

DARDAR [17], a montré cependant que la résistance compression peut être diminuée par l'addition de fibres dans le béton figure I.10. Il a conclu, dans son étude qu'à partir de $V_f = 0,5\%$, pour les fibres de polypropylène, la résistance à la compression diminue et les fibres les plus longues présentent la plus faible efficacité. Suivant l'auteur cette diminution peut s'expliquer par une mauvaise homogénéité du béton et par une valeur E/C élevée, ou une mauvaise compacité due à un excès de fibres.

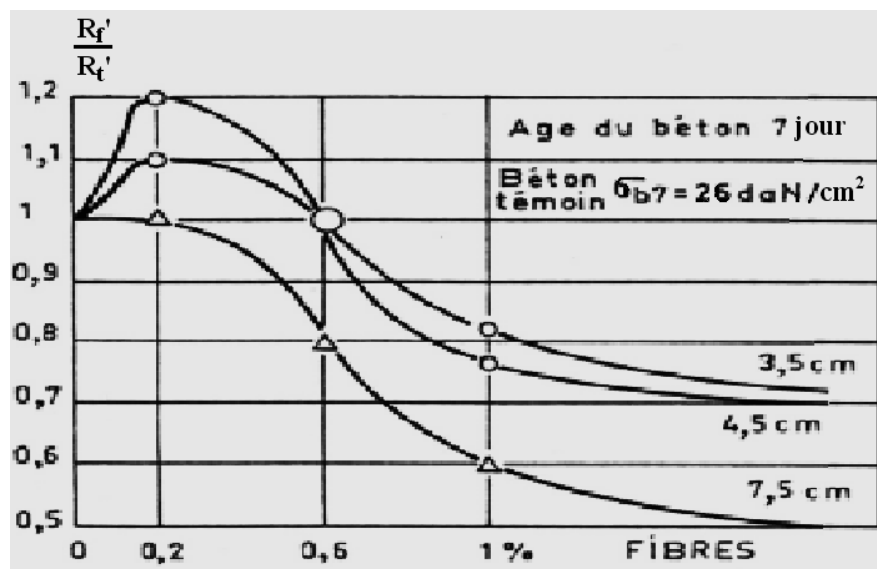


Figure I.10- Influence de la longueur et le pourcentage de fibres sur la résistance à la compression du béton de fibres [18]

LEMLOUMA et CHRAA [19], ont trouvé que la résistance à la compression à 28 jours augmente de 22.08% par rapport au béton témoin. Ce résultat est conforme aux recherches effectuées sur cocktail de fibres métalliques et polypropylènes.

ROSSI a conclu [12], que les bétons de fibres métalliques, constitués de fibres longues, ont toujours des résistances en compression inférieure à celles du béton non fibré fabriqué avec les mêmes constituants et à maniabilité équivalente. Tandis que, pour les fibres courtes, Rossi a rapporté cette conclusion :

« Bien que l'augmentation des résistances en traction et en compression avec le pourcentage des fibres courtes soit le résultat le plus fréquemment attendu, et obtenu, on peut aboutir à une stagnation, voire une diminution de ces résistances pour certains pourcentages, notamment dans le cas de la compression ».

❖ Résistance à la traction :

Comme pour la compression, les fibres apportent une légère augmentation de la résistance à la traction du béton de fibres (un accroissement de 16%) et une certaine ductilité du comportement post-rupture du composite.

De nombreux auteurs utilisent des essais de traction " indirecte " : l'essai de fendage ou l'essai dit de " module de rupture " (essai de flexion pour lequel on mesure l'effort maximum atteint).

Les fibres interviennent essentiellement 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 restreignent la propagation de la fissure. La figure I.11 montre le comportement global d'une éprouvette en béton fibré soumise à la traction directe.[6]

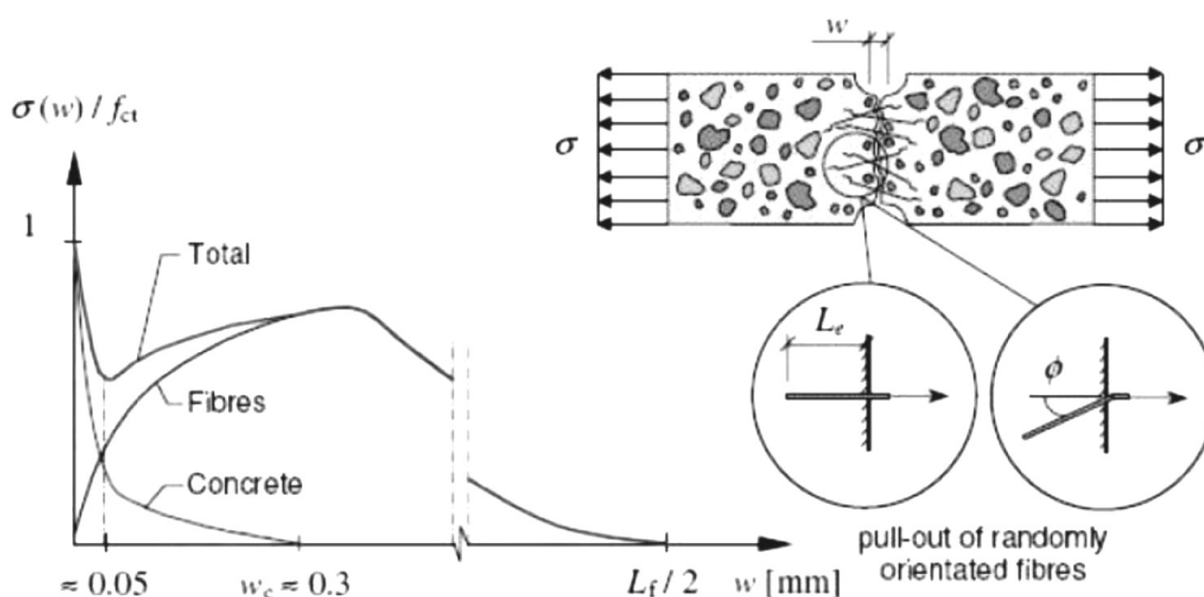


Figure I.11- Contribution des fibres dans le comportement à la traction[20]

❖ Résistance à la traction par flexion :

Le comportement du béton en flexion est conditionné par la fissuration de la zone tendue. Pour cela, la présence des fibres peut jouer un rôle de stabilisateur après rupture de la matrice de béton. En effet, alors que le béton sans fibres se désagrège rapidement après fissuration, les bétons de fibres métalliques continuent à reprendre des efforts même après que la charge maximale soit atteinte.

- LEMLOUMA et CHRAA [19], ont trouvé que la résistance à la traction par flexion à 28 jours augmente de 37.63% par rapport au béton témoin. Ces résultats sont conformes aux recherches effectuées sur cocktail de fibres métalliques et polypropylènes.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

- ABBANI[21,22], montre que l'augmentation du pourcentage en masse des fibres végétales de palmier dattier de longueur L=4 cm et L=6cm , améliore notablement la résistance à la flexion (figures I.12, I.13).

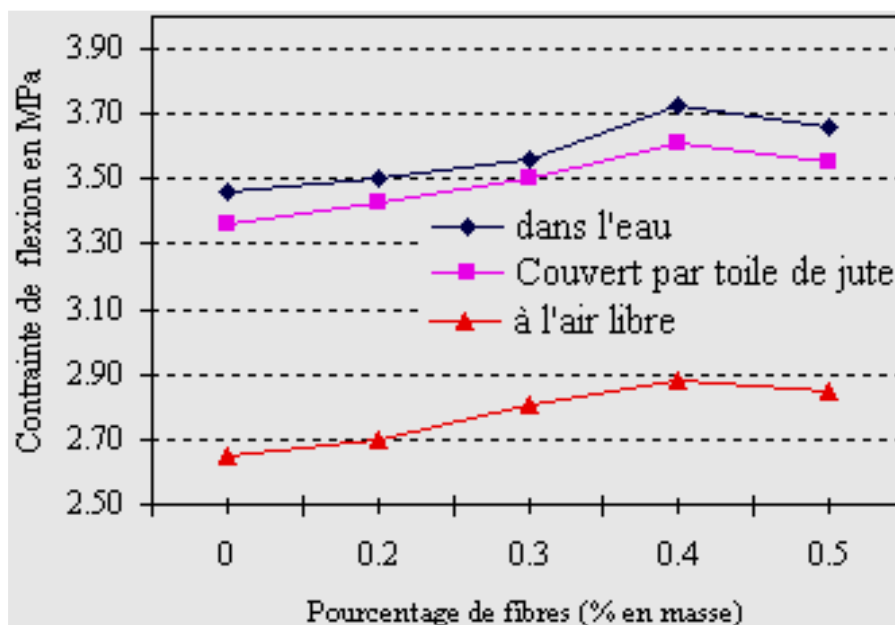


Figure I.12- Variation de la résistance à la flexion en fonction du % en masse des fibres de 40mm et méthode de cure [21].

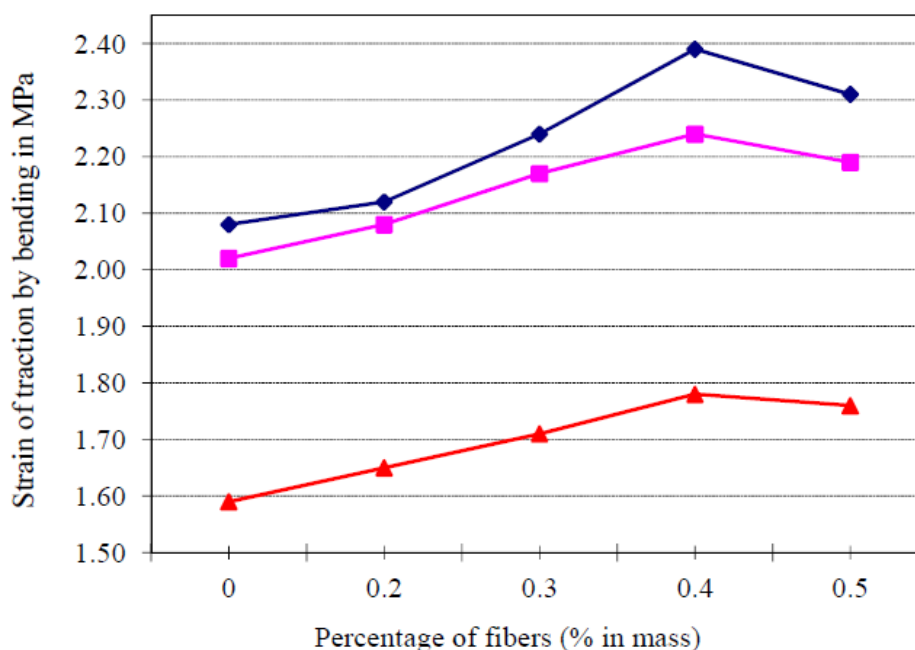


Figure I.13- Variation de la résistance à la flexion en fonction du % en masse des fibres de 60mm et méthode de cure [22].

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

- Dans un rapport publié par A.C.I COMMITTEE 544 [23], les auteurs confirment que les fibres métalliques, introduites jusqu'à 4% par volume, ont été trouvées qu'elles augmentent la résistance de la première fissure deux fois et demi plus de celle de béton non renforcé de fibres.

- BEN YAHIA [15], a trouvé que l'incorporation de fibres de fil d'attache dans la matrice béton apporte une amélioration de résistance à la flexion lorsque le pourcentage de fibres est $V_f = 3\%$, et une diminution pour de forts pourcentages figure I.14.

-

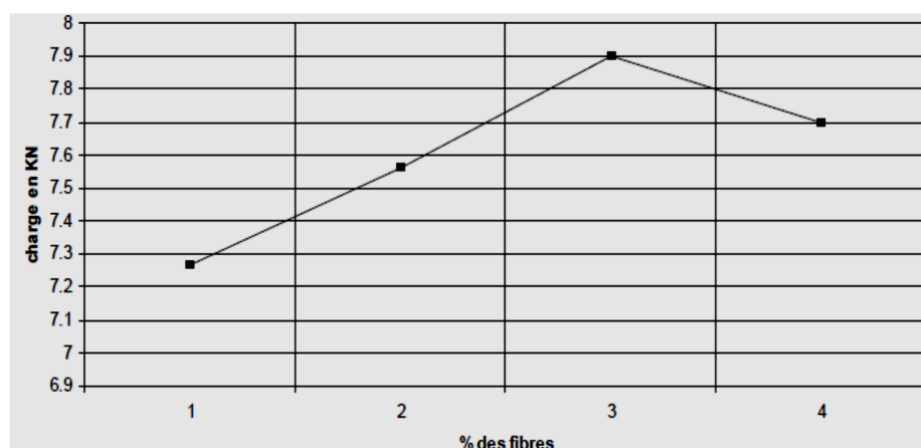


Figure I.14- Influence du pourcentage de fibres sur la résistance à la flexion [15].

BENTALHA et HOUARI [24], ont réalisé des essais de flexion 4 points sur des corps d'épreuve prismatiques de dimensions $10 \times 10 \times 120$ cm³, Les résultats de cette étude ont montré que:

La résistance à la flexion à 7 jours améliorées. Une énergie à la rupture supérieure à celle du mortier témoin (sans fibres). Un comportement très différent à la fissuration entraînant un retard notable à la ruine.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

La figure II.115. Illustre les Courbes charges – flèches de différents mélanges

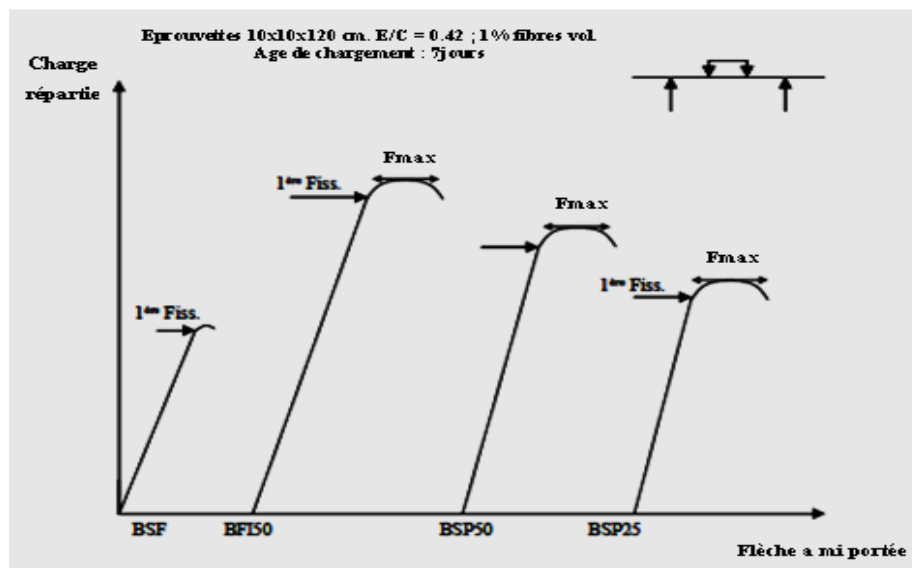


Figure I.15- Courbes charges – flèches [24]

Avec :

- BSF : Matrice témoin sans fibres.
- BFI50 : Matrice renforcée avec des fibres commercialisées (FI50).
- BSP50 : Matrice renforcée avec des copeaux d'acier (SP50).
- BSP25 : Matrice renforcée avec des copeaux d'acier (SP25).

SWAMY et STAVRIDES [25], établit une formule de régression qui permet de prévoir la résistance à la flexion d'un béton de fibres, en fonction de celle de béton sans fibres :

Avec :

$$\sigma_f = 0,97 \cdot \sigma_b \cdot (1 - V_f) + 3,14 \cdot V_f \cdot \frac{L}{d} \quad (I.2)$$

σ_f : Résistance à la flexion du béton de fibres (MPa) ;

σ_b : Résistance à la flexion du béton témoin (MPa) ;

v_f : Pourcentage des fibres, en volume ;

$\frac{L}{d}$: Élancement des fibres.

❖ Résistance à la fatigue

La présence des fibres augmente la résistance à la fatigue et améliore le comportement du béton sous sollicitations cycliques (résistance et nombre de cycle à rupture).

DEHOUSSE [26], a réalisé des essais de flexion alterné, sous charge comprise entre 0 et 0,6 fois la charge de rupture, et avec une fréquence de 30 cycles/ secondes. Il a conclu qu'un béton armé de 0,75 % de fibres résiste 12 fois plus de cycle que le même béton sans fibres avec une diminution de 50 % de charge de rupture.

BATSON et al [27], ont réalisé des essais sur des éprouvettes de béton renforcé de 2 et 3 % de volume de fibres d'acier avec l/d varie de 70 à 90. Les résultats conclus de cette étude ont montré que le béton de fibres d'acier, avec un volume de fibre de $V_f = 3\%$, résiste 2×10^6 cycles jusqu'au 75 % de la contrainte de la première fissure, mais avec 2% de volume de fibres, la capacité de la contrainte diminue 50% pour la même vie de fatigue (2×10^6).

❖ Comportement vis-à-vis du retrait

La présence des fibres permet de freiner les mouvements du squelette dû à l'évaporation de l'eau ou à l'évolution de la microporosité. Le retrait du béton de fibres est alors moins important que celui du même béton sans fibres. De plus, la réduction du retrait augmente avec l'augmentation de la teneur en fibres[15].

❖ Résistance au choc

La résistance aux chocs, qui est l'énergie de rupture sous charge impulsive, fournit une indication sur la fragilité d'une pièce de forme donnée, ou sur éprouvette et dispositif normalisés d'un matériau donné.

SETTI et al [28], l'étude de la ductilité des nœuds de structures poteaux - poutres en béton de fibres métalliques, montrent que l'utilisation des fibres métalliques dans les nœuds où le ferrailage est très complexe ; est avantageux pour l'amélioration de la performance telle que la ductilité, Ainsi Le taux de dégradation de rigidité est moindre en comparaison avec le béton conventionnel armé.

I.8- CONCLUSION

A travers ce chapitre, nous avons fait une synthèse bibliographique sur les bétons de fibre. Cette synthèse concerne l'historique et le comportement mécanique des bétons de fibres. De plus, une intention particulière a été donnée aux types de fibres utilisés et leur influence sur le comportement de ces bétons. Enfin des arguments ont été donnés afin de justifier notre choix de types de fibres (fibres métalliques) à utiliser dans notre travail

Ces arguments peuvent être tirés des recherches antérieures :

- ✓ Amélioration de la ductilité,
- ✓ Diminution du taux de dégradation des structures,
- ✓ Freiner le retrait,
- ✓ Augmente la résistance à la fatigue et améliore le comportement du béton sous sollicitations cycliques,
- ✓ Les fibres métalliques peuvent augmenter la résistance à la compression du composite .
- ✓ Les fibres métalliques augmentent la résistance à la flexion des composites .

CHAPITRE 2

II.1- Introduction

Le béton est un matériau artificiel obtenu par un mélange d'un liant (généralement du ciment), d'eau, de granulats (sable et graviers), et éventuellement d'adjuvant, le choix des matériaux s'est porté, tout d'abord, sur leur disponibilité dans la région de Laghouat. Dans le présent chapitre nous avons étudié quelques caractéristiques des matériaux de base de notre composite à savoir le gravier, sable, ciment, adjuvant, fibres métalliques et l'acier d'armature.

II.2- Caractéristiques des composants

II.2.1- Gravier

Le gravier utilisé provient d'une roche calcaire de la région de Laghouat. Pour la formulation de notre béton on a choisi deux fractions, 3/8 et la fraction 8/15. Le gravier est le constituant le plus important des bétons et sa qualité est, donc, un facteur déterminant pour la qualité du béton résultant.

Tous les essais d'identification sont réalisés au niveau de laboratoire de Génie Civil de l'Université Amar Thelidji de Laghouat. Chaque résultat représente la moyenne d'au moins trois essais.



Figure II.1- Gravier 3/8



Figure II.2- Gravier 8/15

II.2.1.1. Masses volumiques

Les masses volumiques apparentes et spécifiques des granulats sont calculés d'après la norme française NF P18-555.

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

II.2.1.1.1- Masse volumique apparente

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent du corps. C'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient, elle est donnée par la formule suivante :

Les résultats des essais sont résumés dans le tableau II.1

II.2.1.1.2- Masse spécifique

On entend par la masse spécifique la masse d'un corps par unité de volume total en ayant déduit les vides entre les grains.

.Les résultats des essais sont résumés dans le tableau II.1

Tableau II.1- Masses volumiques apparentes et spécifiques des graviers utilisés

Classe de Gravier	Gravier 3/8	Gravier 8/15
γ_{app} (kg/m ³)	1319	1255
γ_s (kg/m ³)	2715	2715

II.2.1.2- Capacité d'absorption d'eau du gravier

C'est une mesure des pores accessibles à l'eau. Elle est déterminée en mesurant l'augmentation de masse d'un échantillon séché au four après avoir été immergé dans l'eau pendant 24 heures et séché superficiellement. Le rapport entre l'augmentation de la masse et la masse de l'échantillon sec, exprimé en pourcentage, est défini comme étant l'absorption, qui ne doit pas dépasser les 5 % selon la norme française NF P 18-555, soit :

Tableau II.2- Coefficient d'absorption d'eau des graviers utilisés.

Classe de Gravier	Gravier 3/8	Gravier 8/15
A_b (%)	2,2	2

II.2.1.3- Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 5 et 15 mm.

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

Cet essai est réalisé suivant la norme NF P 18-560. L'échantillon représentatif doit avoir une masse comprise entre 200D et 600D. Où D la plus grande dimension des granulats à analyser.

On appelle tamisât ou passant l'ensemble des grains qui passent à travers le tamis, et refus l'ensemble des grains qui sont retenus sur le tamis.

Les résultats de l'analyse granulométrique du gravier G8/15 et G3/8 sont donnés dans le tableau II.3, Leurs courbes granulométriques sont montrées sur la figure II.3.

Tableau II.3- Analyse granulométrique par tamisage de gravier G3/8 et G8/15.

G 3/8		G 8/15	
Tamis (mm)	Tamisat (%)	Tamis (mm)	Tamisat (%)
8	100	16	100
6.3	92	12.5	83
5	28	10	33
4	15	8	6
3.15	2	6.3	0
2.5	0		

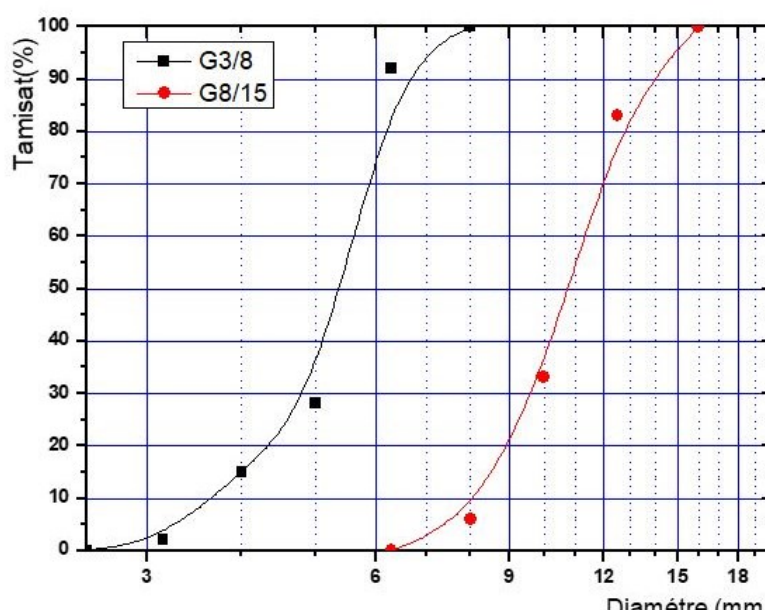


Figure II.3- Courbe granulométrique du gravier G3/8 et G8/15.

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

II.2.2- Sable

Dans cette étude on à utiliser trois types de sable :

- ✓ Un sable de dune provenant de la région Nord de la ville de Laghouat (HAMDA).
- ✓ Un sable de calcaire
- ✓ Un sable alluvionnaire qui a été extrait de l'oued M'zi (région de Laghouat).



Figure II.4- Sable de dune



Figure II.5- Sable alluvionnaire



Figure II.6- Sable calcaire

II.2.2.1 - Masses volumiques

Les résultats des essais de la masse volumique apparente et la masse volumique spécifique des différents sables sont :

Tableau II.4- Masses volumiques apparentes et spécifiques des sables utilisés.

Type de Sable	Sable de dune SD	Sable alluvionnaire SA	Sable de calcaire SC
γ_{app} (kg/m ³)	1521.1	1648	1538.5
γ_s (kg/m ³)	2595	2602	2624

II.2.2.2 - Capacité d'absorption d'eau du sable

Les résultats des essais sont résumés dans le tableau II.5.

Tableau II.5- Coefficients d'absorption

Type de Sable	Sable de dune SD	Sable alluvionnaire SA	Sable calcaire SC
A_b (%)	1.95	0.60	5.78

II.2.2.3 - Essai d'équivalent de sable

L'équivalent de sable E_s indique le degré de pollution des éléments d'un sol. Il a pour but de mesurer la propreté et de déterminer le pourcentage des poussières nuisibles dans le matériau.

L'essai a été fait conformément à la norme française NF P18-598. Deux indices sont déterminés :

✓ Pour l'équivalent de sable visuel :

$$E_{SV}(\%) = \frac{h_2'}{h_1} \times 100$$

✓ Pour l'équivalent de sable à piston :

$$E_{SP}(\%) = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

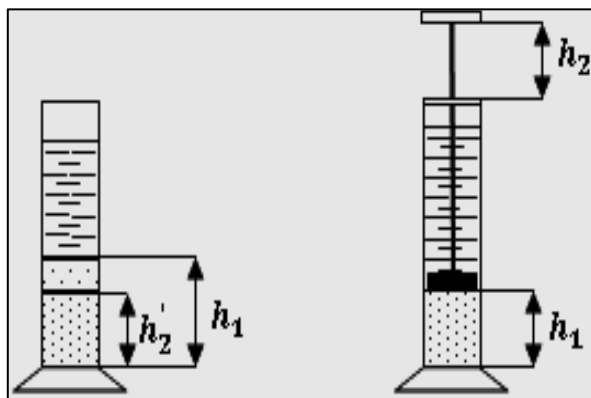


Figure II.7- Essai Equivalent de sable.

Les valeurs moyennes trouvées sont :

Tableau II.6- Equivalent de sable utilisé.

Type de Sable	Sable de dune	Sable alluvionnaire	Sable de calcaire
E_{sv} à vue (%)	89,50	83,33	73,1

II.2.2.4 - Analyse granulométrique

Pour les trois types de sable, les analyses granulométriques effectuées sont représentées dans les tableaux II.7.

II.2.2.4.1- Module de finesse

Les sables sont caractérisés par le module de finesse M_f . Le module de finesse d'un granulat est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentages, sur les tamis de

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

série suivant (0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm). Le module de finesse surtout utilisé pour les sables permet de caractériser leur granularité par une seule valeur. Celle-ci dépend surtout de la teneur en grains fins du sable.

Plus le module de finesse est faible, plus le sable est fin. Un module de finesse élevée caractérise un sable grossier

$$M_f = \frac{\sum \% \text{ refus(cumulé)}}{100}$$

Tableau II.7- Analyse granulométrique par tamisage des sables

SC		SD		SA	
Tamis (mm)	Tamisat (%)	Tamis (mm)	Tamisat (%)	Tamis (mm)	Tamisat (%)
4	100	0.63	100	5	100
3.15	97.62	0.5	99.76	4	98
2.5	90.71	0.4	99.28	3.15	97
1.25	59.6	0.315	91.36	2.5	94.5
0.63	38.06	0.25	74.48	1.6	92
0.315	27.69	0.2	57.4	1.25	88
0.16	17.52	0.16	24.6	0.8	82
0.08	12.75	0.125	13.36	0.63	66
0.063	0.58	0.1	8.4	0.315	27
		0.08	4.28	0.25	16
		0.063	0.2	0.16	6
				0.08	0.6
				0.063	0

- ✓ Module de finesse du sable de dune (SD est : $M_f=1.04$)
- ✓ Module de finesse du sable alluvionnaire (SA) est : $M_f = 2.3$

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

✓ Module de finesse du sable de calcaire (SC) est : $Mf = 2.66$

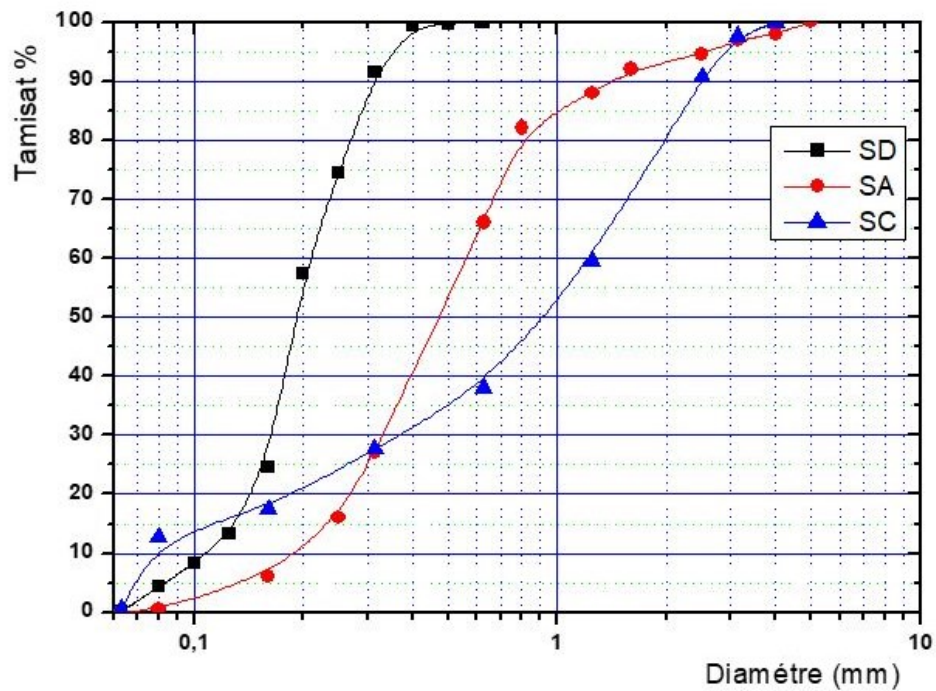


Figure II.8- Analyse granulométrique du SD SA SC

II.2.2.5- Analyse minéralogique

La figure II.9 présente la diffractogramme du sable calcaire

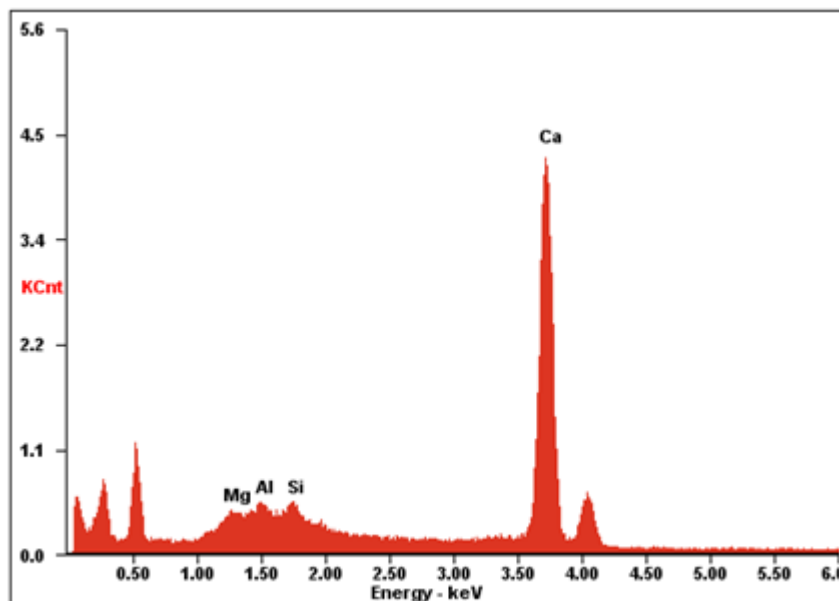


Figure II.9- Diffractogramme du sable calcaire

La figure II.10 présente la diffractogramme du sable de dune

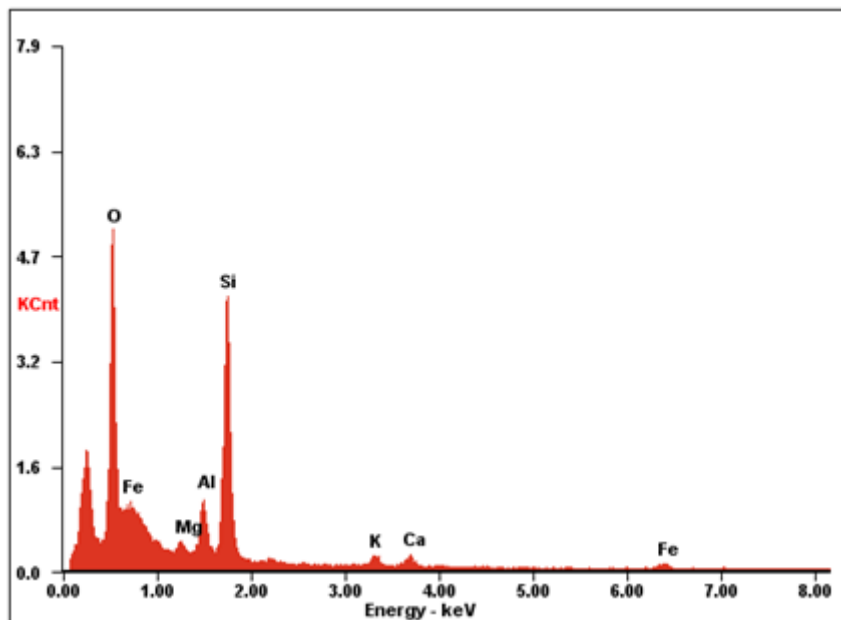


Figure II.10- Diffractogramme du sable de dune

II.2.3- Ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine qui, mélangée avec de l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium.

II.2.3.1- Composition

Le ciment que nous avons utilisé pour la confection des bétons est un ciment Portland composé (MATINE) CPJ-CEM II / 42,5N/B ; fabriqué par l'Usine de Lafarge Msila.

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile. Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO₂) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al₂O₃) et le fer (Fe₂O₃). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°C. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformes à la norme française NF P 15-301.

II.2.3.2- Analyses et caractérisation

Les analyses chimiques et minéralogiques du ciment sont résumées dans le tableau II.8 :

Tableau II.8- Analyses chimiques de ciment.

Analyses chimiques	
Perte au feu (%)	8,00 - 10,00
Résidus insolubles (%)	0,7 - 1,5
Teneur en sulfates SO ₃ (%)	2,10 - 2,50
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1,00 - 1,30
Teneur en chlorures (%)	0,01 - 0,03
Composition hypothétique du clinker	
Silicates tricalciques C ₃ S (%)	55,00 - 62,00
Silicates bicalciques C ₂ S (%)	13,00 - 22,00
Aluminates tricalciques C ₃ A (%)	6,50 - 8,20
Aluminoferrites tetracalciques C ₄ AF (%)	10,00 - 13,00

II.2.3.2.1- Consistance normale

L'essai de consistance permet de déterminer le pourcentage d'eau requis pour la fabrication d'une pâte de ciment de consistance normale. La pâte est dite de consistance normale lorsque la sonde de 10 mm de diamètre de l'appareil de Vicat s'enfonce à une profondeur de 10 ± 1 mm en 30 secondes sous l'effet d'une charge totale de 300 g, la teneur en eau est exprimée en pourcentage de masse de ciment selon la norme française NF EN 196-3.

II.2.3.2.2- La finesse de mouture (finesse de Blaine)

L'essai a pour but de calculer le débit d'air susceptible de passer à travers la poudre.

La surface massique du ciment étudié n'est pas mesurée directement, mais par comparaison avec un ciment référence dont la surface massique est connue. Il s'agit de faire passer un volume d'air connu au travers d'une poudre de ciment. Toutes choses étant égales par ailleurs, plus la surface massique de cette poudre est importante et plus le temps t mis par l'air pour traverser la poudre est long.

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

Dans les conditions normalisées décrites, la surface est proportionnelle à \sqrt{t} , selon la norme française NF EN 196-6.

La surface spécifique est calculée par la formule :

$$S = K \frac{\sqrt{e^3} \sqrt{t}}{\varphi (1-e) \sqrt{\eta}}$$

Avec :

k : Constante de l'appareil ;

t : Le temps mesuré en seconde ;

e : Porosité de ciment ;

φ : La masse volumique du ciment exprimée en (g/cm³) ;

η : Viscosité de l'air à la température de l'essai.

II.2.3.2.3- Masse volumique absolue

Le principe de la mesure consiste à mesurer le déplacement de niveau d'un liquide inerte vis-à-vis du ciment contenu dans un récipient lorsqu'on y introduit une masse donnée du ciment. L'appareil utilisé et appelé densimètre le Chatelier. Les pesées s'effectuent avec une balance de grande précision (de l'ordre de 0,001 gramme).

La masse volumique absolue du ciment se déduit à partir de l'expression suivante :

$$\rho_s = \frac{\text{Masse du ciment}}{\text{Volume déplacé}}$$

II.2.3.2.4- Essai de prise

Il est nécessaire de connaître le début et fin de prise des pâtes de ciment (des liants hydrauliques) afin de pouvoir évaluer le temps disponible pour la mise en place correcte des mortiers et des bétons qui seront ensuite confectionnés. Le début et la fin de prise sont déterminés à l'aide de l'aiguille de Vicat sur une pâte de consistance normale placée dans un moule tronconique d'après la norme française NF P15-473.

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

II.2.3.2.5- Essais mécaniques

Les ciments courants sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression exprimées en MPa à 28 jours, cette résistance est mesurée sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm en mortier 1/3 (une partie de ciment pour trois parties de sable), conformément à la norme française NF EN196-1.

Les résultats de l'ensemble des expérimentations sont regroupés dans le tableau suivant.

Tableau II.9- Propriétés physiques et mécaniques du ciment.

Propriétés physiques	
Consistance normale de la pâte de ciment (%)	25,5 - 28,00
Finesse suivant la méthode de Blaine en cm^2/g	4 300 - 4 800
Masse volumique absolue en kg/m^3	3034
Masse volumique apparente en kg/m^3	1410
Temps de prise	
Début de prise (min)	160 - 209
Fin de prise (min)	205 - 270
Résistances mécaniques	
R_{c28} (MPa)	≥ 36.90
R_{t28} (MPa)	6.45

II.2.4- Eau de gâchage

L'eau présente dans le béton joue deux fonctions principales : Elle lui confère sa maniabilité à l'état frais (ses propriétés rhéologiques) et assure l'hydratation du ciment. L'eau de gâchage utilisée est l'eau potable du réseau public de la ville de Laghouat, cette eau joue un rôle très important dans :

- ✓ L'hydratation du ciment ;
- ✓ Au mouillage des granulats (car la pâte de ciment colle mal à des granulats secs) ;
- ✓ Le malaxage et la mise en œuvre (améliore la maniabilité du béton).

L'analyse chimique de l'eau a été effectuée au laboratoire traitement des eaux de l'université de Laghouat. Elle montre que la potabilité chimique est de bonne à passable.

II.2.5- Adjuvant

Les adjuvants sont des produits qui, ajoutés à moins de 5% du poids du ciment, au moment du malaxage des mortiers et des bétons. Ils améliorent certaines de leurs propriétés. Il s'agit

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

d'un super-plastifiant réducteur d'eau de nouvelle génération appelé « SIKA VISCORETE TEMPO 12 » figure II.11.



Aspect / Couleur : Liquide brun clair
Densité : $1,060 \pm 0,020$
Valeur pH : $5,5 \pm 1,0$
Extrait Sec : $29,5 \pm 1,4\%$ (méthode halogène selon NF 085) $29,5 \pm 1,4\%$ (NF EN 480-8)
Teneur Totale en Ions Chlorure : $\leq 0,1 \%$
Equivalent Oxyde de Sodium : $\leq 1 \%$

Figure II.11- SIKA VISCORETE TEMPO 12.

II.2.6- Fibres

Le rôle des fibres, dans une matrice fragile, est le renforcement et la couture de la matrice après la fissuration, donc elles doivent posséder des caractéristiques satisfaisantes. D'autre part les fibres doivent être inertes dans le milieu cimentaire.

Les fibres utilisées doivent être avant tout, mécaniquement, physiquement et chimiquement compatible avec les constituants de la matrice. Elles doivent conserver leurs propriétés dans le temps et être compatibles.

Les fibres utilisées sont des fibres métalliques locales et proviennent de la récupération. Elles sont issues des déchets aux chantiers "chutes de fil d'attaches". Elles ont une forme géométrique droite et lisse, cette idée contribue d'une part à la protection de l'environnement par la diminution du volume des déchets et d'autre part à la réduction du coût du béton de fibres tout en respectant les performances mécaniques du béton.



Figure II.12- Les fibres utilisées

II.2.6.1. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres

L'essai de traction est réalisé au niveau de laboratoire de mécanique à l'université de Laghouat à l'aide d'une presse de traction de 5KN de capacité comme le montre la figure II.14, les résultats trouvés nous ont permis de déterminer la loi de comportement des fibres métalliques représenté par la figure II.13.

▸ Pour la détermination de la résistance à la traction des fibres utilisées, nous avons fait des essais sur des échantillons de 15 cm de longueur.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau II.10- Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres utilisées.

Caractéristiques	
Charge de rupture à la traction	0.313 KN
Allongement à la rupture	0.989 mm
Géométrie de fibres utilisées	Øf = 1.16 mm Lf = 10,20 et 40 mm



Figure II.14- Presse de traction de 5KN de capacité.

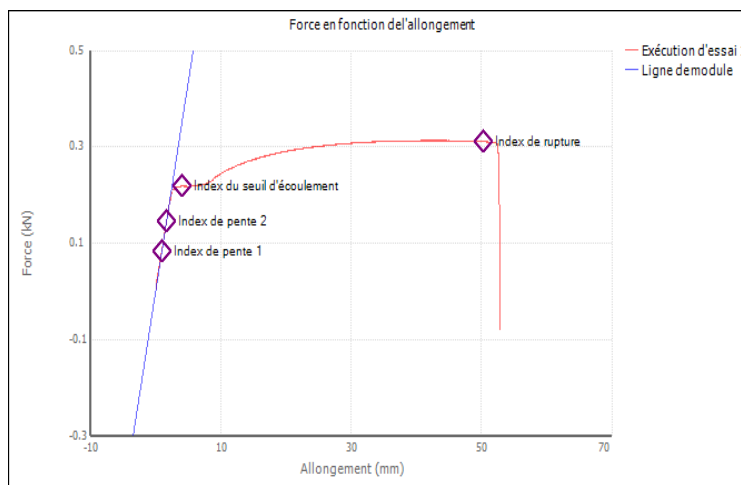


Figure II.13- Loi de comportement à la traction des fils d'attache.

II.3- Préparation des poutre en béton armé renforcée de fibres

L'objectif de cette partie porte sur l'étude du comportement des éléments de structure de type poutre, sous l'effet d'addition de fibres métalliques. La géométrie des poutres en béton testées correspond aux dimensions de $(10 \times 15 \times 110)$ cm³. Pour chaque type de béton, Six poutres ont été préparées avec un ferrailage schématisé sur la figure II.15. Les poutres ont été sollicitées en flexion à quatre points, la force étant appliquée de manière croissante.

II.3.1- Acier d'armature

II.3.1.1- Ferrailage des poutres

Les poutres sont des éléments structuraux qui transmettent les efforts de plancher vers les poteaux. Elles sont sollicitées à la flexion simple. Le ferrailage est calculé à l'état limité ultime sous l'effet du moment le plus défavorable suivant les recommandations du RPA 99/version 2003.

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

Les aciers utilisés pour le ferrailage des poutres ont les caractéristiques suivantes :

- Les ronds lisses FeE24..... $f_e = 215$ MPa..... $f_{su} = 187$ MPa. Pour les étriers (armatures transversales).

$f = \frac{f_e}{\gamma_s}$: est la valeur de calcul de la contrainte de l'acier.

γ_s : est le coefficient de sécurité ($\gamma_s = 1.15$ cas courants).

- Les hautes adhérences FeE40..... $f_e = 400$ MPa $f_{su} = 348$ MPa. Pour les armatures longitudinales de traction et de compression.

II.3.1.2- Prescriptions données par RPA99/version 2003

• Armatures longitudinales :

- ✚ Le pourcentage minimal des aciers longitudinaux sur toute la largeur de la poutre doit être supérieur de 0,5% de toute la section.
- ✚ Le pourcentage maximal est de 4% en zone courante et 6% en zone de recouvrement.
- ✚ La longueur minimale de recouvrement est de 40ϕ (en zone I).

• Armatures transversales

- ✚ La quantité des armatures transversales minimale est de : $A_t = 0.003.S.b$;
- ✚ L'espacement maximal entre les armatures transversales est déterminé comme suit :
- ✚ Dans la zone nodale et en travée, si les armatures comprimées sont nécessaires, le RPA exige un minimum de « $h/4, 12\phi$ ».
 - En dehors de la zone nodale l'espacement doit être « $S \leq h/2$ ».
- ✚ La condition de non fragilité : $A_{CNF} > \frac{0,23bd f_{t28}}{f_e}$
- ✚ Le ferrailage longitudinal selon les règles RPA est $ARPA = 0,5\% S$.

Avec :

b : largeur de la poutre (m).

d : hauteur de la poutre moins l'enrobage ($d = h - c = 10$; $h = 15$ cm).

f_{t28} : résistance de traction égale à 2,1 MPa.

$f_e = 400$ MPa. S : section du béton (m^2).

II.3.1.3- Armatures longitudinales et transversales

Pour le renforcement longitudinal de la poutre, quatre barres d'acier HA8 pour les armatures tendues (inférieur) et les armatures comprimées (supérieur) ont été utilisées. Pour les cadres des armatures, les barres en acier lisses de diamètre $\varnothing 6$ ont été utilisées.

La distance entre les cadres a été fixée à 7 cm figure II.15.

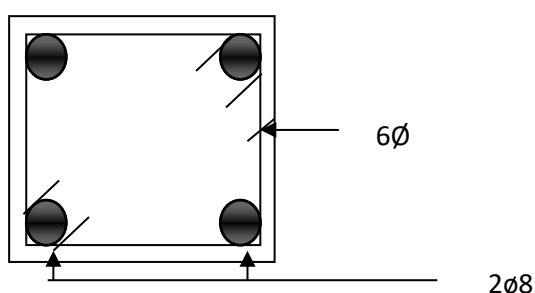


Figure II.15- Ferrailage des poutres.

II.4- Techniques expérimentales

II.4.1- Fibres métalliques

Un type de béton autoplaçant (CEM II 42.5N et super plastifiant TEMPO12). Les fibres utilisées sont des fibres métalliques type de fil d'attache.

Dans cette étude, on a utilisé multiples dosages volumiques 0.5, 1, 1.5%, en fibres, et trois longueurs de fibres 10, 20 et 40 mm.

II.4.2- Préparation du béton

II.4.2.1- Béton témoin

Tous les mélanges ont été fabriqués dans un malaxeur à axe vertical d'une capacité maximale de 60 L, le malaxage s'effectue de la façon suivante :

- ✓ Introduire le sable, le ciment, et les graviers dans le malaxeur, malaxée pendant 60 secondes ;

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

- ✓ Ajouter l'eau de gâchage au cours du malaxage. Le super plastifiant est dilué dans l'eau et ajouté après avoir introduit 70 % de l'eau de gâchage ;
- ✓ Continuer le malaxage jusqu'à 180 secondes.

II.4.2.2- Béton avec fibres

Le béton de fibres a été fabriqué dans les mêmes conditions et avec le même malaxeur que le béton ordinaire :

- ✓ Introduire le sable, le ciment, et les graviers dans le malaxeur, malaxée pendant 60 secondes ;
- ✓ Les fibres sont introduites progressivement par petite quantité, en forme de pluie ; pour éviter la formation d'oursins « pelotes », à chaque ajout, il y a malaxage pendant 10 secondes (3 à 5 opérations) ;
- ✓ Ajouter l'eau de gâchage au cours du malaxage. Le super plastifiant est dilué dans l'eau et ajouté après avoir introduit 70 % de l'eau de gâchage ;
- ✓ Continuer le malaxage jusqu'à 240 secondes.

II.4.3- Confection et cure des éprouvettes

Le béton a été coulé dans des moules prismatiques (7x7x30cm³) (figure II.16). Les moules contenant les spécimens ont été couverts de film plastiques et stockés dans l'environnement du laboratoire. Après 24 heures de confection, les échantillons ont été démoulés soigneusement et conservés jusqu'à l'âge de l'essai dans l'environnement suivant :

- ✓ A la chambre de conservation de $(21 \pm 2)^\circ \text{C}$ et $(90 \pm 5) \% \text{HR}$ pour les autres essais
- ✓ Les prismes de $(7 \times 7 \times 30) \text{ cm}^3$ pour les essais de :
 - Flexion ;
 - Compression ;
 - Auscultation sonore.
- ✓ Les prismes de $(10 \times 15 \times 110) \text{ cm}^3$ pour les essais de :
 - Comportement de flexion sur des poutres.
 - Auscultation sonore.

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

Depuis, différentes classes de BAP ont été désignées en fonction du type d'application. Ainsi, différentes classes d'étalement ont été définies :

- ✓ Classe SF1 : étalement compris entre 550 et 650 mm
- ✓ Classe SF2 : étalement compris entre 660 et 750 mm
- ✓ Classe SF3 : étalement compris entre 760 et 850 mm



Figure II.17- Utilisation le cône d'ABRAMS pour la détermination de l'étalement.

b) Module d'élasticité dynamique

L'essai non destructif ultrasonique est la technique utilisée fréquemment pour estimer la qualité de béton ou mortier. Cette méthode est basée sur la mesure de la vitesse de la propagation d'onde qui est en rapport avec les propriétés mécaniques et, plus directement, avec le module d'élasticité dynamique.

Le module d'élasticité dynamique E_d peut être déterminé à partir de l'équation suivante en fonction de la vitesse de propagation d'onde :

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

$$E_d = v^2 \rho \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$$

Avec :

ρ : La masse volumique de chaque éprouvette (Kg/m³).

ν : Le coefficient de poisson de béton égale à 0.2.

V : vitesse de propagation d'onde au sein du matériau (m/s) .

Cette vitesse est le rapport de la longueur d'éprouvette sur le temps de propagation d'onde.

Cette dernière mesure peut être faire sur l'ouvrage lui-même et permet de rendre compte in situ de la qualité du béton et de sa régularité.



Figure II.18- Appareil d'Auscultation dynamique (ultra sonore).

c) Résistance à la compression

Les essais sont effectués sur les demi-prismes après la flexion 7x7x15 cm, selon la norme française NFP 15-451, au moyen d'une presse d'écrasement CONTROLS (figure II.19). La résistance à la compression est calculée selon la formule :



Figure II.19- Presse d'écrasement à la compression.

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A}$$

Avec :

σ_c : résistance à la compression (en MPa).

F_c : charge maximale enregistrée à la rupture (en N).

A: aire de l'éprouvette (en mm).

d) Résistance à la flexion (flexion 3 points)

Ajoute des fibres dans la matrice béton pour améliorer la ductilité et fournir un contrôle du mécanisme de fissuration.

C'est l'essai généralement le plus utilisé et le plus connu dans la caractérisation des matériaux renforcés de fibres.

L'essai est réalisé sur des éprouvettes prismatiques (7 x 7 x 30) cm³ selon la norme NF P. 18-407.

Pour une charge totale F. le moment de flexion constant entre les deux appuis est :

$$M = \frac{F.L}{4}$$

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

La machine d'essais de résistance à la flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à 10 KN avec une vitesse de mise en charge de $50 \text{ N/sec} \pm 10\text{N/sec}$.

La machine doit être pourvue d'un dispositif de flexion tel que celui schématisé sur la figure II.20.

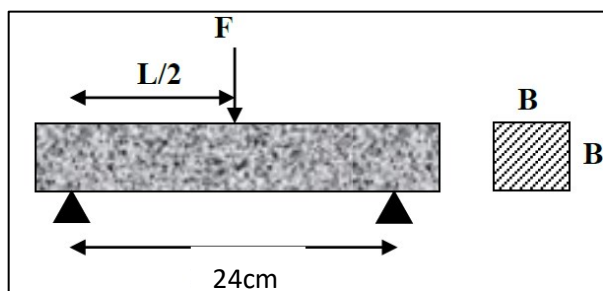


Figure II.20- Schématisation du dispositif de flexion 3 points.



e) Résistance à la flexion (4 points) des poutres en béton armé renforcée avec des fibres métalliques

L'étude de comportement de flexion dans notre recherche s'intéresse aux trois paramètres, à savoir la flèche à mi-travée, l'évolution de nombre des fissures, et à la ductilité des poutres après la charge maximale.

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

Les essais effectués pour étudier les trois paramètres ont été réalisés au laboratoire de génie civil d'université de Ammar Thelidji de Laghouat.



Figure II.21- Poutres en Béton de fibres.

Une fissuration non contrôlée est nuisible pour le matériau béton armé ; elle conduit à long terme à un problème de durabilité du fait qu'elle présente le passage des agents agressifs qui détériorent le béton et l'acier noyé à l'intérieur. Du point de vue structurelle, la fissuration diminue la rigidité des sections en béton armé et avec le temps, toute la partie tendue devient inefficace structurellement puisque fissurée, même si un effet rigidifiant de cette partie tendue subsiste toujours et contribue à réduire la flèche,.

- Les flèches sont mesurées à l'aide de comparateurs de précision 10-2 mm.
- L'emplacement des comparateurs est schématisé sur la figure II.22.
- La mesure d'ouverture de fissure est déterminée à l'aide d'un pied à coulisse.

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

- La ductilité des poutres est mesurée au moment où la charge appliquée conduit à une flèche minimale ou constante.

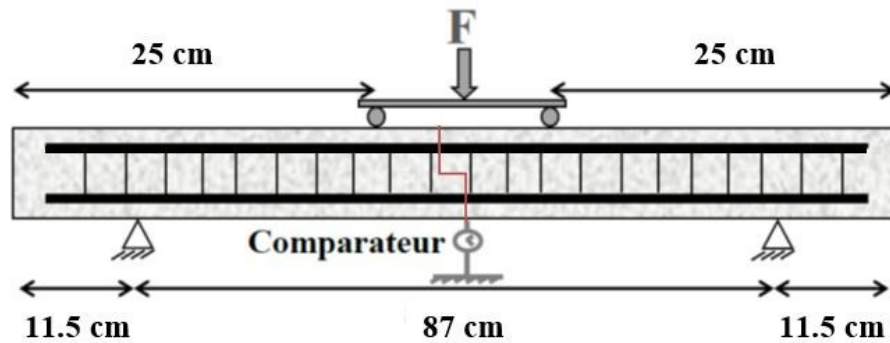


Figure II.22- Schématisation du dispositif de flexion 4 points.

II.5- Conclusion

Le travail présenté dans ce chapitre traite les caractéristiques des matériaux de base utilisés dans l'étude expérimentale de notre recherche, les conclusions qu'on peut tirer de cette caractérisation sont :

- ✚ Le gravier utilisé est un gravier concassé de la région de LAGHOUAT, d'origine calcaires compactes et dures < 40 , avec un degré d'impureté acceptable. Les deux fractions de gravier 3/8 et 8/15 ont une granulométrie continue avec une courbe un peu serrée pour la fraction 8/15.
- ✚ Le coefficient d'absorption d'eau pour les deux fractions de graviers est acceptable $< 5\%$.
- ✚ Le sable alluvionnaire SA d'oued M'zi, est caractérisé par une granulométrie étalée qui s'inscrit dans le fuseau recommandé pour les bétons ordinaires avec un taux d'absorption d'eau faible ; l'autre sable, c'est le sable de dune SD de la région HAMDA, qui est caractérisé par une granulométrie serrée situé hors du fuseau recommandé de sable, avec un taux d'absorption d'eau relativement faible.
- ✚ Les deux sables (SD, SA) utilisées, sont des matériaux très propres avec un équivalent de sable (et) supérieures de 80 %, acceptable pour la confection des bétons de haute qualité.
- ✚ Le coefficient d'absorption du sable calcaire qui est trouvé égale à 5,78%, parait élevé. Il s'agit d'un sable de concassage qui contient une quantité importante de fines qui ont un grand pouvoir d'absorber de l'eau.
- ✚ D'après l'analyse chimique du sable de dune on constate que la silice (SiO_2) c'est l'élément le plus important dans ce sable. Par contre le Ca l'élément le plus important dans le sable de calcaire.
- ✚ Le ciment utilisé, c'est un ciment portland CPJ 42.5 avec une F_{c28} obtenue de 38Mpa et de prise satisfaisante aux spécifications des ciments courants.
- ✚ L'adjuvant que nous avons utilisé est un super plastifiant haut réducteur d'eau appelé SIKA VISCORETE TEMPO 12. Il est conçu à base de poly carboxylates qui améliore les propriétés physiques et mécaniques du béton, ainsi que la maniabilité du béton. Ce super plastifiant ne présente pas d'effet retardataire.
- ✚ Les fibres de fil d'attache ont une forme régulière, une bonne résistance à la traction avec un allongement à la rupture importante.

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

- ✚ Vu les résultats obtenus, ces matériaux sont satisfaisants aux conditions requises pour être utilisés pour la recherche.

CHAPITRE 3

III.1- Introduction

Dans ce chapitre nous allons exposer et analyser les résultats des différents essais effectués à l'état frais et durci sur un béton autoplaçant fibré. L'objet de la première étape est l'étude de la formulation de béton autoplaçant témoin, ensuite on procède à l'étude de l'effet de la longueur et du pourcentage de fibres sur les propriétés mécaniques afin d'obtenir le dosage optimal de fibres. La phase finale de cette étude consiste à étudier l'effet de la longueur de fibres sur le comportement mécanique à la flexion des poutres en béton armé.

III.2- Description des mélanges

Au total, dix formulations de bétons ont été réalisées pour cette étude. Une formulation témoin pour le béton sans fibres, et neuf formulations de bétons fibrés. Trois longueurs de fibres ont été étudiées : 10, 20 et 40 mm ; avec chacune trois taux de fibres différents : 0,5% ; 1% et 1,5 %. Ce taux de fibres correspond à un pourcentage en volume absolu de fibres par rapport au volume total de la gâchée. La quantité volumique de fibres incorporées a été déduite du volume des granulats, en conservant le même rapport gravillon sur sable, afin de ne pas modifier le dosage volumique des constituants.

Tableau III.1- Désignations de différents bétons

Notation	Désignation
BT	Béton Témoin
BF L 10 P 0.5	Béton de fibre de longueur 10mm et pourcentage de 0.5%
BF L 10 P 1	Béton de fibre de longueur 10mm et pourcentage de 1%
BF L 10 P 1.5	Béton de fibre de longueur 10mm et pourcentage de 1.5%
BF L 20 P 0.5	Béton de fibre de longueur 20mm et pourcentage de 0.5%
BF L 20 P 1	Béton de fibre de longueur 20mm et pourcentage de 1%
BF L 20 P 1.5	Béton de fibre de longueur 20mm et pourcentage de 1.5%
BF L 40 P 0.5	Béton de fibre de longueur 40mm et pourcentage de 0.5%
BF L 40 P 1	Béton de fibre de longueur 40mm et pourcentage de 1%
BF L 40 P 1.5	Béton de fibre de longueur 40mm et pourcentage de 1.5%

III.2.1- Formulation d'un béton auto plaçant témoin BT

III.2.1.1- Méthode de formulation et hypothèses

Dans cette partie de la recherche, on va utiliser la méthode de formulation japonaise (dite aussi, méthode basée sur l'optimisation de mortier) ...La méthode repose sur les concepts suivants :

- 1- Limitations de volume de gravier (volume de gravier égal à la moitié de son volume solide).
- 2- Le volume de sable est pris arbitrairement égal à 40% du volume total de mortier.
- 3- Le rapport E/L et le dosage de superplastifiants sont optimisés à partir des essais sur mortier.

La formulation repose sur l'hypothèse suivante :

- Le volume de gravier (V_g) représente environ 50% de son volume solide (c'est-à-dire de sa compacité).
- Le rapport massique entre le gravier 3/8 et le gravier 8/15 est pris égal à 0,50
- Le rapport massique entre le sable de dune et le sable calcaire est pris égale à 1,50.
-

L'objectif de la formulation est que le BAP rempli les conditions exigées par l'AFGC (Association Française de Génie Civil) et L'EFNARC (European Fédération of Specialist Construction Chemicals and Concrète Systems) (EFNARC, 1 2002 ;AFGC_t 2008).

En connaissant d'avance les paramètres suivants :

- Volume sable / Volume mortier (V_s/V_m)
- Compacité du gravier (C_g)
- Rapport eau sur liant (E/L)
- Air Occlus (V_a), en %.
- Dosage d'adjuvant super plastifiant (S_p), en % ; ce dosage sera ajusté en fonction de la fluidité désirée.
- Masse volumique spécifique de sable (ρ_s).
- Masse volumique spécifique de gravier 3/8 (ρ_g).
- Masse volumique spécifique de gravier 8/15 (ρ_G).
- Proportion du gravier 3/8 (Y_g).
- Proportion du gravier 8/15 (Y_G).
- Masse volumique spécifique de ciment (ρ_c).

- Masse volumique spécifique de SP (ρ_{sp}).
- Extrait sec du SP(ESP), en %.
- Coefficient d'absorption du sable (Abs), en %.
- Coefficient d'absorption du gravier 3/8 (Abg), en%.
- Coefficient d'absorption du gravier 8/15 (AbG), en %.

III.2.1.2- Optimisation de dosage de super plastifiant

Vu qu'il s'agit d'un béton auto plaçant, l'utilisation d'un super plastifiant est nécessaire mais on doit déterminer le dosage optimal afin d'obtenir l'étalement souhaité (70 ± 5 cm), pour cela nous allons varier le dosage de supe plastifiant. Pour chaque composition d'un m^3 , nous mesurons l'étalement avec le cône d'Abrams selon la norme algérienne NA 5102. Les résultats de ces essais sont représentés dans le tableau III.2.

Tableau III.2- Optimisation de dosage de super plastifiant pour un m^3 du béton

Superplastifiant %	1.2	1.3	1.4
Ciment (Kg)	478.67	478.67	478.67
Eau (l)	217.87	217.87	217.87
Gravier 3/8 (Kg)	276.44	276.44	276.44
Gravier 8/15 (Kg)	553.71	553.71	553.71
Sable de dune (Kg)	524.58	524.58	524.58
Sable de calcaire (Kg)	349.72	349.72	349.72
Etalement (cm)	48 ± 2	73 ± 2	90 ± 2

A partir des résultats du tableau III.2, on remarque que le dosage optimal en super plastifiant est de 1.3% qui nous permet d'atteindre l'étalement souhaité.

III.2.1.3- Résultat de formulation de béton témoin

Les résultats de la composition de béton témoin pour un m^3 sont résumés dans le tableau III.3-

RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau III.3- Composition de béton témoin pour un m³.

Superplastifiant %	1.3
Etot/C	0.42
Ciment (Kg)	478.67
Eau (l)	217.87
Gravier 3/8 (Kg)	276.44
Gravier 8/15 (Kg)	553.71
Sable de dune (Kg)	524.58
Sable de calcaire (Kg)	349.72
Etatement (cm)	73 ± 2

III.3- Optimisation du dosage en fibres métalliques pour la formulation d'un béton auto plaçant fibré

III.3.1- Les proportions des constituants des bétons fibrés

Afin d'obtenir l'optimal du dosage en fibres métalliques, On a choisi trois longueurs des fibres (10, 20,40mm) et chaque longueur est utilisé avec trois pourcentage (0.5, 1, 1.5%). L'ensemble des formulations retenues ainsi que les proportions des constituants des bétons sont détaillés dans le Tableau III.4.

RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau III.4 - Quantités des constituants des bétons fibrés (Kg)

		C	SD	SC	G3/8	G8/15	SP		E70	E30	Fibre
1	BT	478.67	532.83	355.22	280.79	562.41	1.30%	6.22	153.11	65.62	0
2	B1L10P05	478.67	528.70	352.47	278.61	558.06	1.32%	6.32	152.84	65.50	39.25
3	B1L10P1	478.67	524.58	349.72	276.44	553.71	1.35%	6.46	152.55	65.38	78.5
4	B1L10P15	478.67	520.46	346.97	274.27	549.36	1.52%	7.28	151.93	65.11	117.75
5	B1L20P05	478.67	528.70	352.47	278.61	558.06	1.35%	6.46	152.77	65.47	39.25
6	B1L20P1	478.67	524.58	349.72	276.44	553.71	1.40%	6.70	152.43	65.33	78.5
7	B1L20P15	478.67	520.46	346.97	274.27	549.36	1.44%	6.89	152.12	65.19	117.75
8	B1L40P05	478.67	528.70	352.47	278.61	558.06	1.38%	6.61	152.70	65.44	39.25
9	B1L40P1	478.67	524.58	349.72	276.44	553.71	1.45%	6.94	152.32	65.28	78.5
10	B1L40P15	478.67	520.46	346.97	274.27	549.36	1.52%	7.28	151.93	65.11	117.75

Avec :

C : Ciment, **SD** : sable de dune, **SC** : Sable de calcaire, **G3/8** : Gravier 3/8, **G8/15** : Gravier 8/15, **SP** : Superplastifiant, **E70** :70% d'eau de gâchage, **E30** : 30% d'eau de gâchage

RESULTATS ET DISCUSSION

A partir du tableau III.4, on remarque que l'augmentation de dosage en fibre et du rapport accroît le problème de distribution hétérogène et de floculation des fibres. De plus, pour une longueur donnée, plus le pourcentage et la longueur de fibres est important, plus la maniabilité du béton diminue, de ce fait, il est nécessaire d'ajuster la quantité de super-plastifiant pour garder l'étalement dans l'intervalle de 70 ± 5 cm.

III.3.2. Effet de la longueur et de dosage en fibres sur les propriétés mécaniques :

Dans le cadre d'optimisation du dosage en fibres métalliques, la résistance à la compression et la résistance à la flexion sont des caractéristiques importantes qui nous permettent de choisir la formulation optimale.

a. Résistance à la compression :

Les résultats de la résistance à la compression pour différents pourcentages des fibres sont présentés dans la figure .III.1 et III.2.

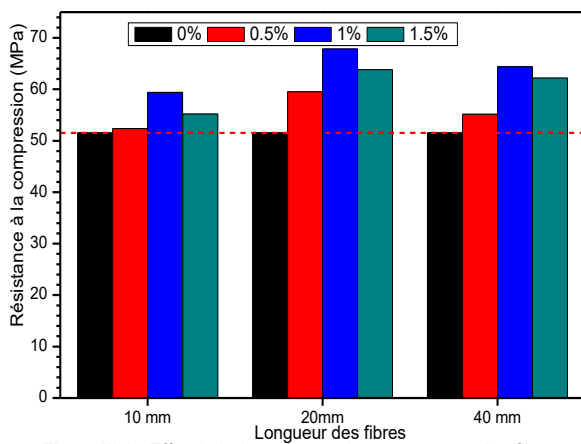


Figure III.1 : Effet de la longueur et de pourcentage des fibres sur la résistance à la compression à 7jours

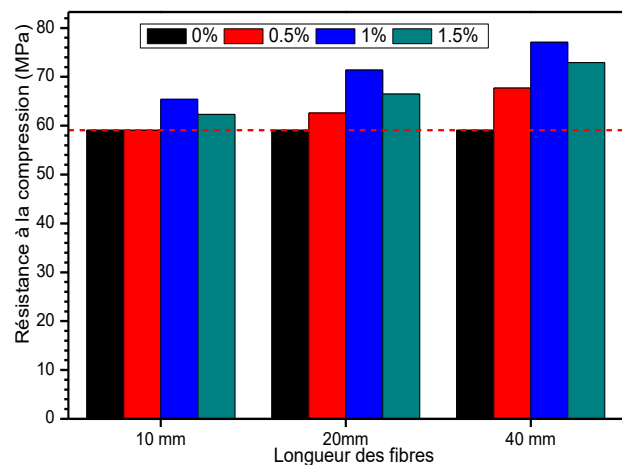


Figure III.2 : Effet de la longueur et de pourcentage des fibres sur la résistance à la compression à 28jours

On remarque à partir des résultats représentés dans le figure III.1 que la résistance à la compression à 7jours des bétons fibrés augmente avec la longueur et le dosage des fibres jusqu'à 1%, après il diminué. L'Augmentation est plus remarquable dans les bétons confectionnés avec les dosages des fibres de 1% et la longueur 20mm avec une augmentation de 31.65 % par rapport au béton témoin.



Figure III.3- Mode de rupture de BT et BL40P10

On notera que l'ajout des fibres, en faible pourcentage, apporte une légère augmentation de la résistance, par contre en augmentant le pourcentage des fibres, celle-ci tend plutôt à diminuer. Cela est dû probablement à la création d'une porosité par la présence d'un pourcentage de fibres plus que l'optimum au sein du matériau qui le fragilise.

A partir des résultats reportés sur la figure III.2, il est clair que l'augmentation de la longueur des fibres augmente la résistance à la compression des bétons à 28 jours. Les bétons confectionnés avec 1% des fibres de longueur 40mm présentent les meilleurs résultats avec une amélioration de 30.45% par rapport au béton de témoin.

On constate aussi d'après les figures III.1 et III.2 que la résistance à la compression présente un optimum maximal à l'âge de 7 et 28 jours avec un dosage de 1% de fibres.

b. Résistance à la flexion

Les résultats de la résistance à la flexion pour différents pourcentages des fibres sont présentés dans les figures .III.4 et III.5.

RESULTATS ET DISCUSSION

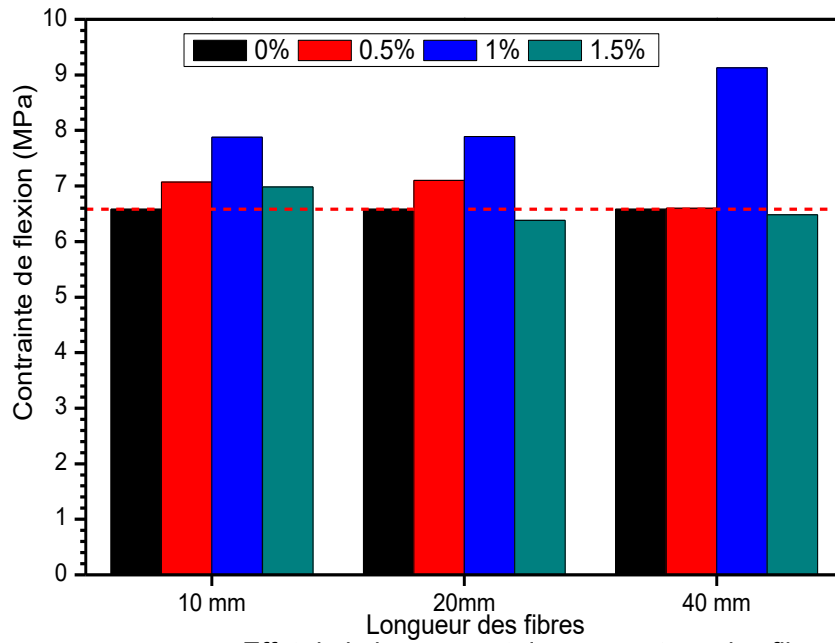


Figure III.4 : Effet de la longueur et de pourcentage des fibres sur la résistance à la traction par flexion à 7 jours

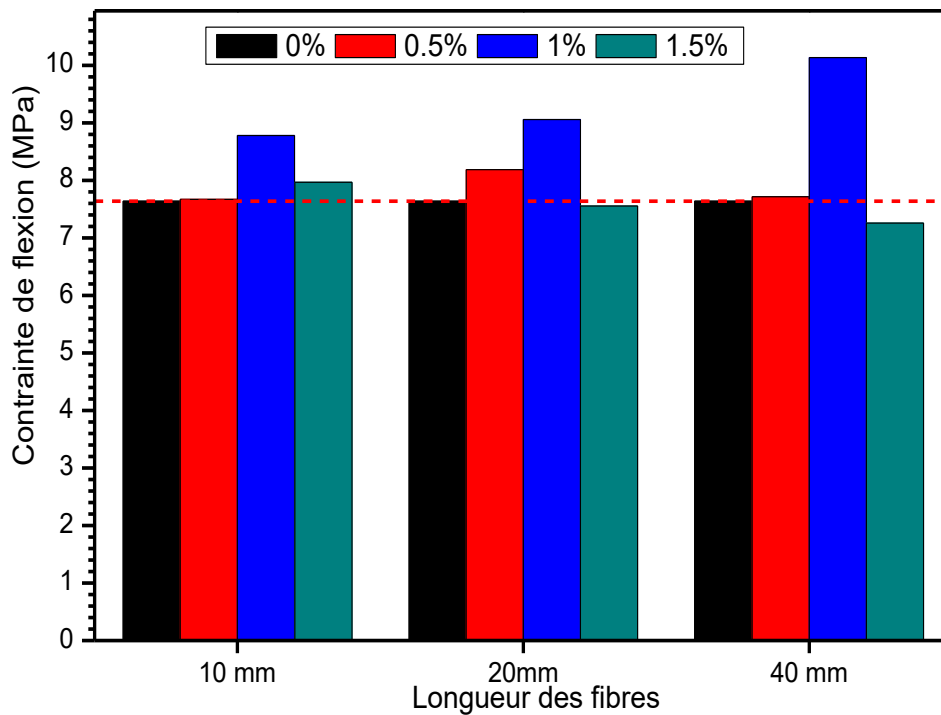


Figure III.5 : Effet de la longueur et de pourcentage des fibres sur la résistance à la traction par flexion à 28 jours

RESULTATS ET DISCUSSION

D'après la figure III.4 et III.5, on constate que l'addition de fibres entraîne une nette augmentation de la résistance à la traction par flexion. Pour un béton contenant 1% de fibres métalliques de longueur 40mm, sa résistance à la flexion à 28j est améliorée de 38.75 % par rapport au béton témoin, ce résultat est en accord avec les résultats trouvés par Lamlouma et Chraa[19]. Il est bien clair que l'amélioration apportée par l'ajout des fibres sur le comportement mécanique en traction par flexion est beaucoup plus importante que celle à la compression. Cette amélioration est due à notre avis à la participation des fibres à l'augmentation de la ductilité et à la couture des fissures.

Par ailleurs, pour les autres cas étudiés (les pourcentages de 0.5 et 1.5%), on remarque que la résistance à la flexion à 28j du béton fibré à 0.5% avec une longueur de 20 mm est améliorée de 7% par rapport au béton témoin. Par contre pour le mélange contenant un pourcentage de 1.5% des fibres et une longueur de 10 mm conduit à une résistance à la flexion supérieure à ceux qui contiennent des fibres de 20mm et 40mm de longueur.



Figure III.6- Couture des fissures

RESULTATS ET DISCUSSION

c. Effet du pourcentage et de la longueur des fibres sur le module d'élasticité dynamique

La mesure du temps t de l'onde longitudinale du son est effectuée dans le but de calculer plusieurs paramètres qui donnent une idée sur la résistance de matériaux.

Tableau III.5- Module d'élasticité dynamique

	Vitesse de propagation		Module d'élasticité dynamique	
	V (m/sec)		E_d (GPa)	
	7j	28j	7j	28j
BT	4975	4665	52.95	46.35
BF L 10 P 0.5	5040	4650	54.76	46.53
BF L 10 P 1	4975	4850	54.06	51.45
BF L 10 P 1.5	4865	4620	51.51	47.46
BF L 20 P 0.5	4980	4690	53.57	47.65
BF L 20 P 1	4980	4695	54.54	48.54
BF L 20 P 1.5	4890	4570	51.37	45.87
BF L 40 P 0.5	4995	4690	54.19	47.13
BF L 40 P 1	5040	4690	55.19	47.97
BF L 40 P 1.5	4935	4615	53.49	47.16

D'après le tableau III.5, on remarque que les résultats obtenus du module d'élasticité dynamique confirment les résultats de la résistance à la compression et à la flexion déterminés précédemment

RESULTATS ET DISCUSSION

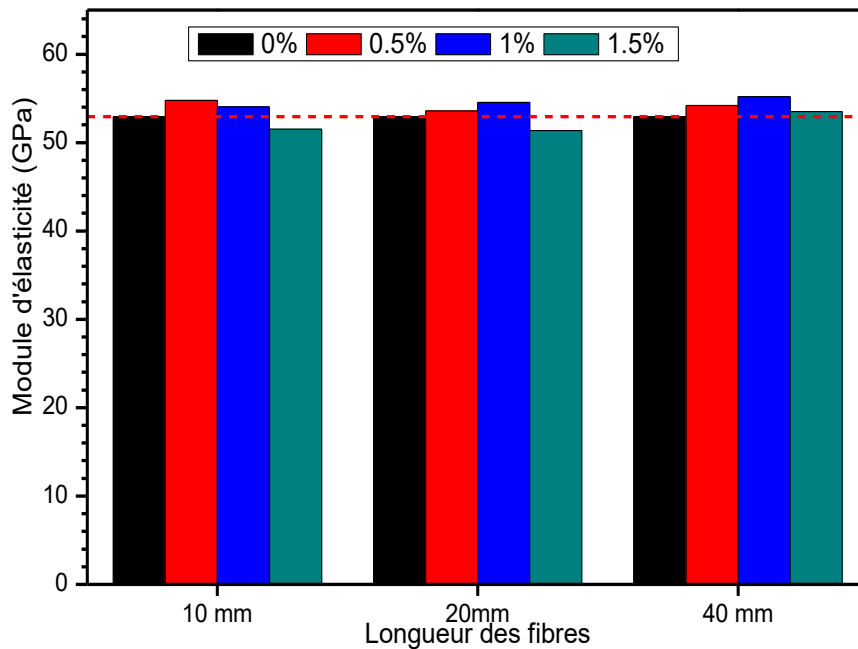


Figure III.7 : Effet de la longueur et de pourcentage des fibres sur le module d'élasticité à 7 jours

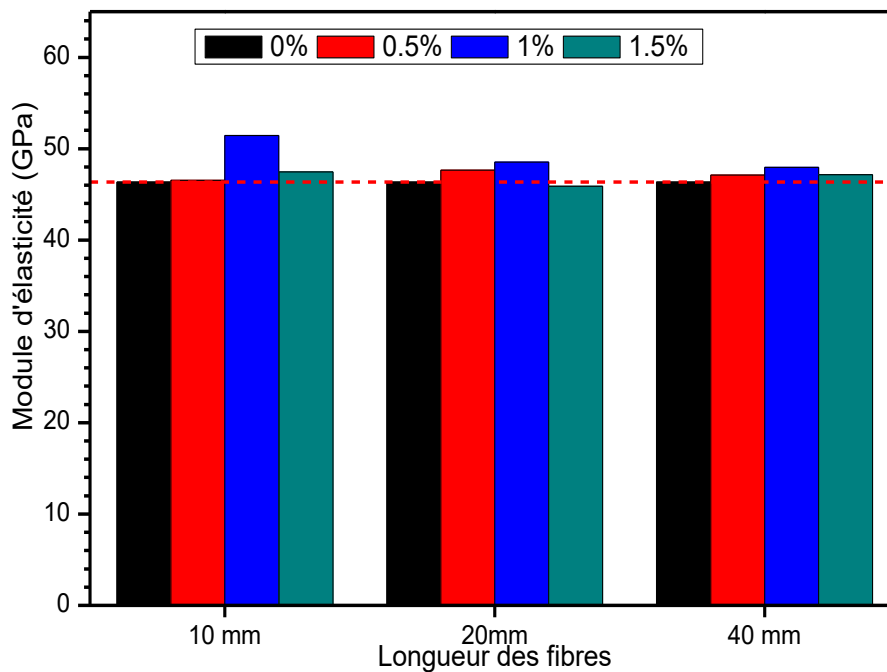


Figure III.8 : Effet de la longueur et de pourcentage des fibres sur le module d'élasticité à 28 jours

D'après les figures III.7 et III.8, on remarque que l'ajout des fibres n'a pas une grande influence sur la valeur du module d'élasticité dynamique, ceci est dû à notre avis aux faibles pourcentages de fibres qui n'a pas d'effet sur la vitesse du son.

III.4- Etude de la ductilité des poutres en béton armé renforcé par des fibres métalliques

Afin de pouvoir étudier l'effet de l'ajout des fibres métalliques sur la ductilité des poutres en béton armé, on a confectionné 4 poutres avec différentes longueurs de fibre, puis on a procédé à l'essai de flexion 4 points sur ces poutres.

Le tableau III.6 représente les pourcentages des constituant des poutres testée

Tableau III.6- Pourcentages des constituant de chaque poutre

Notation	Composition pour 16,5 L en g								
	C	SD	SC	SA	G3/8	G8/15	Fibre	SP	Eau _t
BA	7898	0	0	14653	4633	9280	0	98,73	3357
BTCD	7898	8792	5861	0	4633	9280	0	102,67	3515
BCDF 10	7898	8656	5770	0	4561	9136	1295	106,62	3504
BCDF 20	7898	8656	5770	0	4561	9136	1295	110,57	3500
BCDF 40	7898	8656	5770	0	4561	9136	1295	114,52	3498

Notation	Désignation
BTCD	Béton Témoin à base de sable de Calcaire et Dunaire
BA	Béton à base de sable alluvionnaire
BCDF 10	Béton de 1% de fibre de longueur 10mm
BCDF 20	Béton de 1% de fibre de longueur 20mm
BCDF 40	Béton de 1% de fibre de longueur 40mm

III.4.1- Comportement à la flexion 4 points des bétons BTCD et BA

III.4.1.1- Poutre en Béton armé Témoin à base de sable Calcaire et Dunaire (BTCD)

La **figure III.9** présente la courbe force-flèche à mi- travée du béton témoin (**BTCD**)

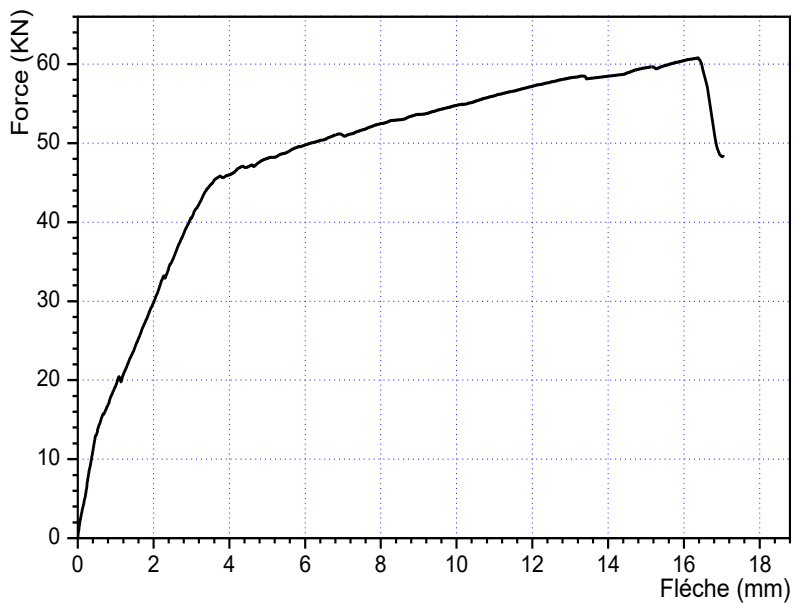


Figure III.9: Courbe force-flèche à mi-travée du Béton témoin

A partir de la **figure III.9**, On remarque que le béton témoin présente un comportement élastique jusqu'à une valeur de 45KN, au-delà de cette valeur le béton témoin **BTCD** présente un comportement plastique jusqu'à une valeur maximale de 60KN. La zone comprise entre la fin du domaine élastique et la rupture représente le palier de ductilité qui sera quantifié dans la partie suivante.

III.4.1.2- Poutre en Béton armé à base de sable Alluvionnaire (BA)

La figure III.10 présente la courbe force-flèche à mi-travée du béton à base de sable alluvionnaire (BA).

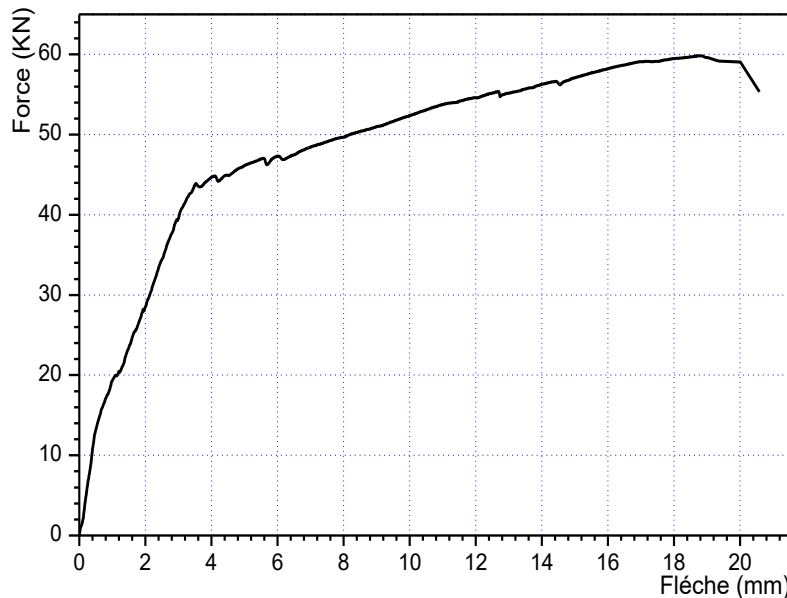


Figure III.10 : Courbe force-flèche à mi-travée du Béton Alluvionnaire BA.

A partir de la figure III.10, On remarque que le béton témoin présente un comportement élastique jusqu'à une valeur de 43KN, au-delà cette valeur le béton BA présente un comportement plastique jusqu'à une valeur maximale de 59KN. La zone comprise entre la fin du domaine élastique et la rupture représente le palier de ductilité qui sera quantifié dans la partie suivante

Commentaire : en faisant une lecture sur les deux figures III.9 et III.10. On remarque que pratiquement que le béton formulé à partir de mélange sable dunaire et calcaire et du béton formulé à base de sable alluvionnaire ont le même palier de ductilité. Cette constatation nous confirme qu'on peut utiliser le mélange sable dunaire et calcaire comme béton de structures.

III.4.2- Comportement à la flexion 4 points des bétons fibrés BCDF10, BCDF20, BCDF40

A partir des essais précédents, et dans un souci environnemental (utilisation de sable dunaire et sable calcaire) nous continuons l'étude de la ductilité sur des bétons fibrés à base de mélange sable

dunaire et calcaire. Afin de réaliser cet objectif, 3 poutres ont été réalisées au laboratoire de génie civil à l'université Ammar Thelidji et soumises à l'essai de flexion quatre points.

III.4.2.1- Poutre en Béton armé Témoin à base de sable Calcaire et Dunaire renforcé par des fibres de 10mm de longueur (BCDF10)

La **figure III.11** présente la courbe force-flèche à mi-travée du béton fibré de 10mm à base de

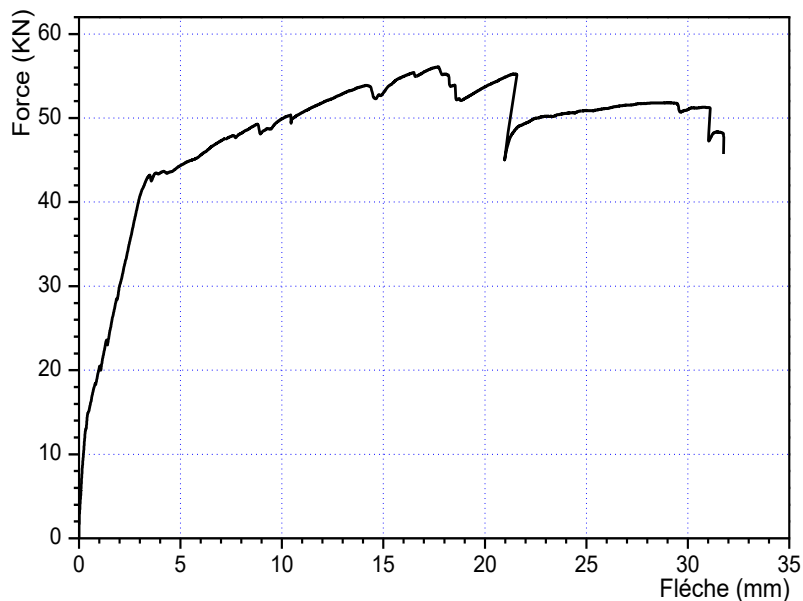


Figure III.11 : Courbe force-flèche à mi-travée du Béton fibré BCDF10.

A partir de la **figure III.11**, On remarque que le béton **BCDF10** présente un comportement élastique jusqu'à une valeur de 43kN, au-delà de cette valeur le béton **BCDF10** présente un comportement plastique jusqu'à une valeur maximale de 56kN. La zone comprise entre la fin du domaine élastique et la rupture représente le palier de ductilité qui sera quantifié dans la partie suivante

III.4.2.2- Poutre en Béton armé Témoin à base de sable Calcaire et Dunaire renforcé par des fibres de 20mm de longueur (BCDF20)

La **figure III.12** présente la courbe force-flèche à mi- travée du béton fibré de 20mm à base de sable calcaire et dunaire BCDF20

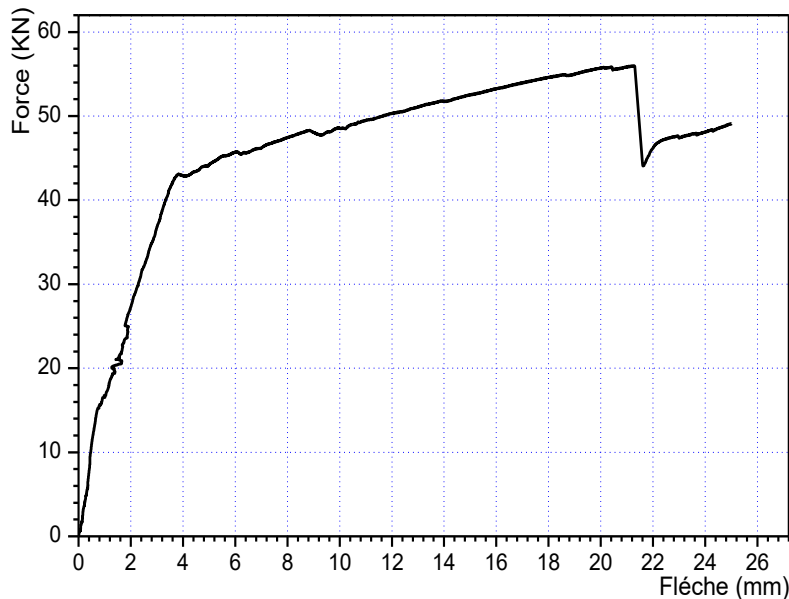


Figure III.12 : Courbe force-flèche à mi-travée du Béton fibré BCDF20.

A partir de la **figure III.12**, On remarque que le béton **BCDF20** présente un comportement élastique jusqu'à une valeur de 43KN, au-delà cette valeur le béton **BCDF20** présente un comportement plastique jusqu'à une valeur maximale de 55KN. La zone comprise entre la fin du domaine élastique et la rupture représente le palier de ductilité qui sera quantifié dans la partie suivante

III.4.2.3- Poutre en Béton armé Témoin à base de sable Calcaire et Dunaire renforcé par des fibres de 40mm de longueur (BCDF40)

La **figure III.13** présente la courbe force-flèche à mi- travée du béton fibré de 40mm à base de sable calcaire et dunaire **BCDF40**

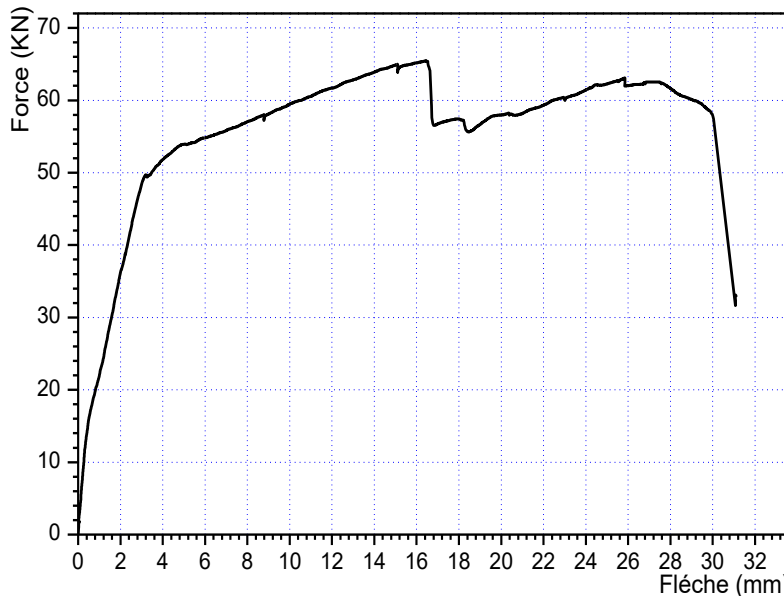


Figure III.13 : Courbe force-flèche à mi-travée du Béton fibré BCDF40.

A partir de la **figure III.13**, On remarque que le béton **BCDF40** présente un comportement élastique jusqu'à une valeur de 51KN, au-delà cette valeur le béton **BCDF40** présente un comportement plastique jusqu'à une valeur maximale de 65KN. La zone comprise entre la fin du domaine élastique et la rupture représente le palier de ductilité qui sera quantifié dans la partie suivante. De plus, ce béton montre une meilleure résistance à la flexion par rapport aux autres bétons.

Commentaire : en comparant les résultats obtenus de la largeur du palier de la ductilité des différents bétons fibrés, on remarque que le béton contenant les fibres de 40mm de longueur présente un palier de ductilité plus importants que les autres bétons, ceci est dû à notre avis à l'effet de la longueur des fibres qui améliore le comportement du béton **BCDF40** dans le domaine plastique.

III.4.3- Résultats de la ductilité en déplacement

La ductilité en déplacement représente le rapport entre le déplacement ultime et celle qui correspond à l'apparition de la première fissure.

Le tableau III représente le coefficient de ductilité des différentes poutres

Tableau III.7- Coefficient de ductilité de chaque poutre

Poutre	Coefficient de Ductilité $\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y}$
Poutre BTCD	3.76
Poutre BA	3.65
Poutre BCDF10	5.10
Poutre BCDF20	4.97
Poutre BCDF40	7.64

La figure III.14 représente l'évolution de la ductilité en déplacement des différentes poutres

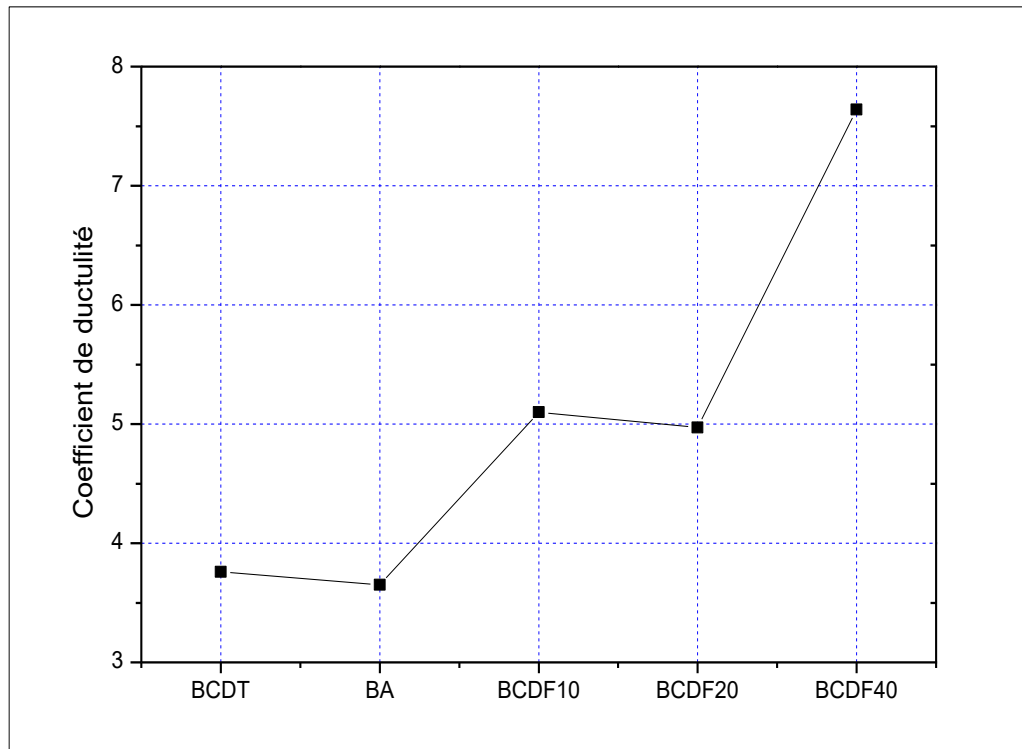


Figure III.14 : L'évolution de la ductilité en déplacement des différents poutres

RESULTATS ET DISCUSSION

A partir de la **figure III.14**, on remarque que la ductilité du béton **BTCD** et **BA** est presque similaire. De même pour béton **BCDF10** et **BCDF 20**, par contre pour le béton **BCDF40** présente une ductilité meilleure par rapport aux autres bétons.

Cette constatation importante nous permet de conclure que le béton **BCDF40** est le mieux ductile, donc on peut le recommander pour la construction en zone sismique.

De plus, on remarque une amélioration importante de la ductilité de béton **BCDF40** de l'ordre 49% par rapport au béton **BCDF10**.

III.5- Conclusion

Cette étude a mis en évidence le rôle et l'influence du taux de fibres métalliques sur les caractéristiques des bétons, après les résultats trouvés on peut citer les remarques suivantes :

- ✓ L'augmentation du taux des fibres métalliques diminue la maniabilité des bétons testés mais elle reste toujours dans le domaine plastique par ajout progressive de super plastifiant.
- ✓ Le comportement en compression est amélioré par la présence des fibres, on constate une amélioration de 31.65% à la résistance à la compression en fonction du 1% de fibres métalliques à 28j.
- ✓ L'addition de fibres entraîne une nette augmentation de la résistance à la traction par flexion, qui atteint de 38.75% au béton témoin en présence de 1% de fibres de 40mm de longueur.
- ✓ L'ajout de fibres métalliques même à faible pourcentage 0.5% améliore le comportement mécanique des bétons.
- ✓ On observe aussi une rupture fragile du béton témoin sans aucune déformabilité au-delà de l'apparition de la fissuration. Par contre, pour le béton de fibres une évolution des flèches post fissuration est encore mesurable malgré la diminution de la charge concentrée.
- ✓ Les fibres métalliques sont ajoutées dans la matrice pour améliorer la ductilité et la résistance en flexion et retarder la formation et le développement des fissures.
- ✓ La ductilité du béton **BTCD** et **BA** sont presque similaire. De même pour béton **BCDF10** et **BCDF 20**, par contre pour le béton **BCDF40** présente une ductilité meilleure par rapport aux autres bétons.
- ✓ Une amélioration importante de la ductilité de béton **BCDF40** de l'ordre 49% par rapport au béton **BCDF10**.

CONCLUSION

GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Notre travail consiste à étudier l'effet de l'ajout des fibres d'une part sur les résistances mécaniques de béton et d'autre part sur le comportement mécanique à la flexion des poutres en béton armé. La recherche nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ La maniabilité du béton est positivement influencée par l'addition du superplastifiant employé (VISCOCRETE TEMPO 12).
- ✓ L'ajout de fibres à une relation avec la maniabilité du béton. La maniabilité diminuée avec l'augmentation de volume ou dosage des fibres
- ✓ Le béton avec de fibres de longueur de 40mm et de taux de 1% a enregistré un gain de la résistance à la traction par flexion à 28j de l'ordre de 38,75% par rapport au béton témoin.
- ✓ Dans le béton témoin, sans fibres, la rupture est brutale et l'ouverture de la fissure est grande, contrairement au béton renforcé de fibres.
- ✓ Les fibres employées ont joué un rôle bénéfique dans le matériau en retardant l'apparition des microfissures, également elles ont un rôle aussi important dans la couture de ces fissures après la rupture de la matrice.
- ✓ L'ajout des fibres n'a pas une grande influence sur la valeur du module d'élasticité dynamique.
- ✓ L'ajout de 1% de fibres de 20mm améliore la résistance à la compression a 28j, on constate une amélioration de 31.65%.
- ✓ L'ajout de fibres de 40 mm de longueur améliore le comportement à la flexion des poutres en béton armé de l'ordre 8,33% par rapport à la poutre en béton armé sans fibres.
- ✓ Une amélioration importante de la ductilité de poutre avec 1% de fibre de 40mm de l'ordre 49% par rapport au poutre de 1% fibre de 10mm.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Yagoub, M.: Evaluation de la qualite du beton de fibres in situ cas de beton autoplaçant avec des fibres mixtes, mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra 2009.
- [2] Absi, E.: Betons de fibres-synthese des etudes et recherches realisees au cebtp, annales de l'institut technique du batiment et des travaux publics, 1994.
- [3] de Larrard, F.: Construire en béton: l'essentiel sur les matériaux, Presses des Ponts, 2002.
- [4] Les bétons : formulation, fabrication et mise en oeuvre : Fiches techniques. Tome 2 - G11 (2013).
- [5] Gopalaratnam, V.S. and Shah, S.P.: Failure mechanisms and fracture of fiber reinforced concrete, Special Publication, **105** (1987), pp. 1–26.
- [6] Fritih, Y.: Apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'éléments en béton autoplaçant armé , Thèse de Doctorat de L'université de Toulouse ,08 Juillet 2009
- [7] Bernier, G.: Formulation des bétons, Ed. Techniques Ingénieur, 2004.
- [8] Cotterell, B. and Mai, Y.-W.: Fracture mechanics of cementitious materials, CRC Press, 1996.
- [9] Banthia, N. and Trottier, J.-F.: Concrete reinforced with deformed steel fibers, part I: bond-slip mechanisms, Materials Journal, **91** (1994), no. 5, pp. 435–446.
- [10] Shah, S.P.: Do fibers increase the tensile strength of cement-based matrix?, Materials Journal, **88** (1992), no. 6, pp. 595–602.
- [11] CABRILLAC, R.: Etude comparative des betons de fibres metaliques, de verre et de bambou, annales de l'institut technique du batiment et des travaux publics, Publication 1992.
- [12] Rossi, P.: Les bétons de fibres métalliques, Ed. Techniques Ingénieur, Paper 1998.
- [13] Gieu, S.: Ductilité des structures en béton armée, Paper (2014), p. 124.
- [14] Baron, J. and Lesage, R.: Compacité et maniabilité des bétons hydrauliques [Rapport de Recherche des LPC No 3], Paris, 1969.
- [15] BENYAHIA, A.: L'Influence des fibres metaliques sur le comportement mecanique du beton, Mémoire de magister, université de M'sila, Algérie (2001).
- [16] Rahli, O.; Hadjer, B. and souhila, B.: Etude comparative du comportement mécanique des dallages industriels en béton arme et celles en béton de fibres métalliques, Mémoire de master, université de Houari Boumediene Alger, Algérie (2014).
- [18] Dardare, J.: Contribution à l'étude du Comportement Mécanique des Bétons Renforcés avec des Fibres de Polypropylène, RILEM Symposium on Fiber-Reinforced Cement and Concrete, London, ed. AM Neville, 1975, pp. 227–235.
- [19] LEMLOUMA Abdelkader, CHRAA Khaled.: Etude du comportement en flexion des poutres en béton armé renforcé par un cocktail de fibres (de polypropylène et métalliques) Mémoire de master, université de Laghouat, (2014).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [20] Löfgren, I.: Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction-a fracture mechanics approach to material testing and structural analysis, Chalmers University of Technology, 2005.
- [21] Abani, S.: Caractérisation des bétons renforcés par des fibres végétales de palmier dattier, Mémoire de magister, Université de Ouargla (2003).
- [22] Abani, S.; Kriker, A. and Khenfer, M.M.: Flexural properties of reinforced date palm fibres concrete in sahara climate, konference 'technologies and materials for renewable energy, environment and sustainability: tmrees18', beirut, lebanon, 2018, p. 030080.
- [23] Committee, A. 544: State of the Art Report OI Piber Reinforced Concrete, J, ACE, **70** (1973), pp. 725–729.
- [24] Bentalha, M. and Houari, H.: Étude du comportement des matrices cimentaires renforcées de fibres métalliques sous chargement monotone croissant, Sciences & Technologie. B, Sciences de l'ingénieur, (2007), no. 25, pp. 51–58.
- [25] Swamy, R.N. and Stavrides, H.: Some properties of high workability steel fibre concrete, Fibre-reinforced cement and concrete, Rilem Symposium, Sheffield, 1975, pp. 197–208.
- [26] Dehousse, N.: Méthode d'essais et caractéristiques mécaniques des bétons armés de fibres métalliques, RJLEM Symposium, 1975, pp. 119–136.
- [27] Batson, G.; Jenkins, E. and Spatney, R.: Steel fibers as shear reinforcement in beams, Journal Proceedings, 1972, pp. 640–644.
- [28] Setti, B.; Hammoudi, S.; Mustapha, T. and Achit-Henni, M.: Etude de la ductilité des nœuds de structures poteaux - poutres en beton de fibres métalliques, Article Université Hassiba Benbouali de Chlef (Algérie),

Normes :

[NF EN 14889-1] 2006 : Fibres pour béton (2006) . Partie 1 : Fibres d'acier Définitions, spécifications et conformité. Norme Française.

[NF EN 14845-1] : Méthodes d'essai des fibres dans le béton (2007) Partie 1 : Bétons de référence. Norme Française

[NF P18-555] Norme Française P18-555., (1990), Granulats – Mesures des Masses Volumiques, Coefficient d'Absorption et Teneur en Eau des Sables, Éditions AFNOR, Paris, 1990.

[NF P 18-560] Norme Française P18-560., (1991), Granulats, Analyse granulométrique par tamisage, Éditions AFNOR, Paris, 1991.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[NF P18-598] Norme Française P18-598.,(1991) Granulats - Équivalent de sable - GRANULATE. SANDGLEICHWERT. Éditions AFNOR, Paris, 1991.

[NF P 15-301] Norme Française P15-301., Liants hydrauliques - Ciments courants - Composition, spécifications et critères de conformité. Éditions AFNOR, Paris, 1994

[NF P15-473] Norme Européenne NF EN 196-3., (1990), Méthodes d'essais des ciments – Partie 3: Prise de Ciment, Paris 1990.

[NF EN 196-3] Norme Européenne NF EN 196-3., (1990), Méthodes d'essais des ciments – Partie 3: Prise de Ciment, Paris 1990.

[NF EN196-1] Norme Européenne NF EN 196-6., (1995), Méthodes d'essais des ciments – Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques, Paris, 1995.

[NF P 18 – 404],[NF P 18 – 405] Norme Française., (1981), Béton-Essai d'étude, de convenance et de contrôle-confection des éprouvettes, Éditions AFNOR, Paris 1981.

[NF P. 18-407] Norme Française, P18-407., (1981), Béton-Essai de flexion, Éditions AFNOR, Paris 1981.

ANNEXES

ANNEXES



Coffrage en bois pour les poutres 10x15x110cm



Coulage des poutres



Ferrailage des poutres

ANNEXES



Application d'une couche de vinyl

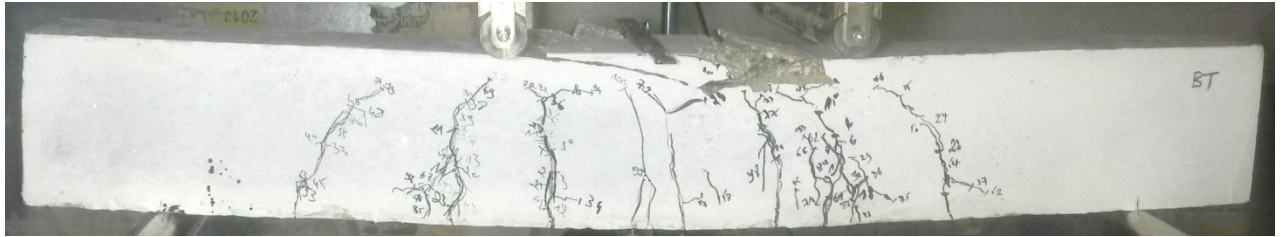


Mode de cure (Chambre humide)

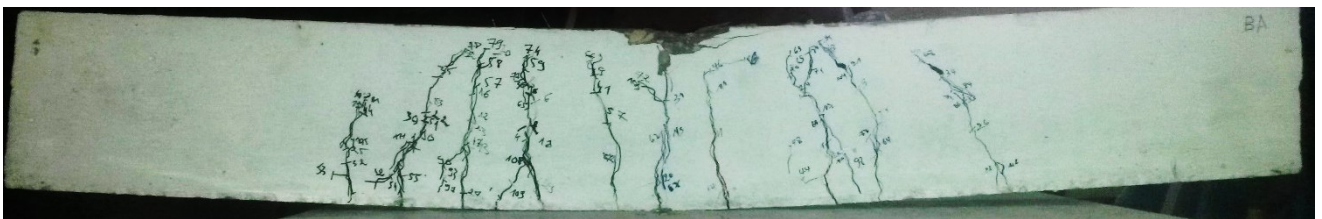


Eprouvettes 7x7x30cm démoulé

ANNEXES



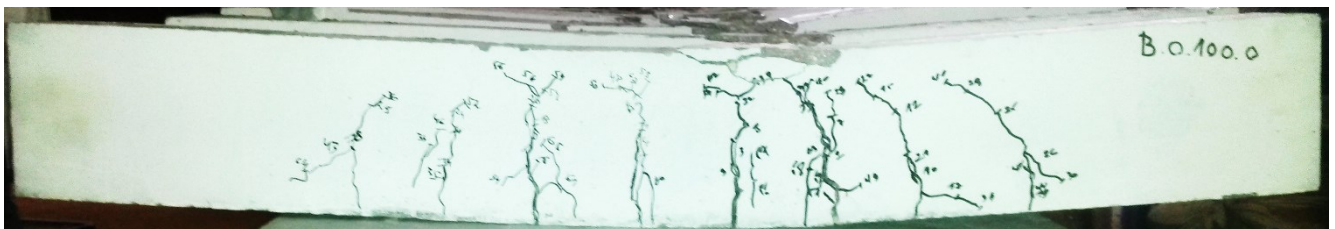
Destruction et fissuration finale de la poutre BCDT avec At



Destruction et fissuration finale de la poutre BA avec At

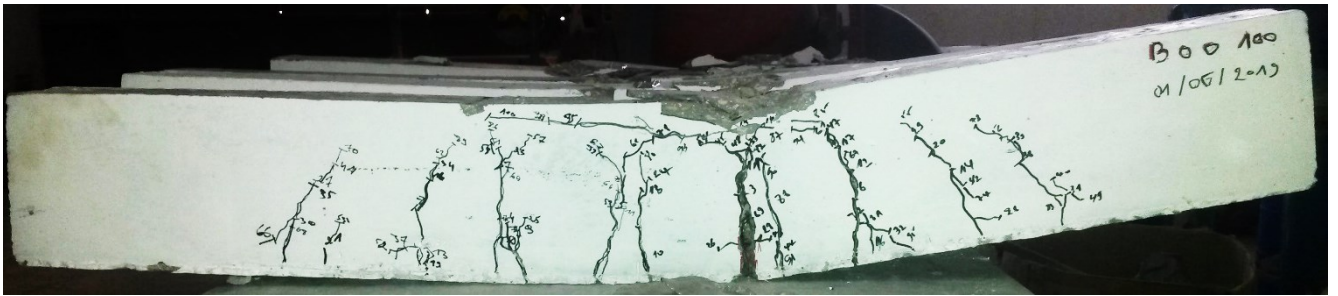


Destruction et fissuration finale de la poutre BCDF10 avec At



Destruction et fissuration finale de la poutre BCDF20 avec At

ANNEXES



Destruction et fissuration finale de la poutre BCDF40 avec At



Écoulement d'acier de la poutre BCDF40

Résumé :

Le béton est le matériau le plus utilisé dans le domaine de la construction mais il reste un matériau fragile sous l'effet des efforts des charges accidentelles (séisme, chocs, ...). Pour cette raison, des recherches considérables ont été menées pour améliorer les caractéristiques mécaniques en flexion et en compression par l'ajout de fibres dans un béton autoplaçant constitué de deux types de gravier 3/8 et 8.15, et deux types de sable, sable de dune et calcaire.

Dans ce cadre, notre objectif est d'étudier l'effet de l'ajout des fibres métalliques sur les propriétés mécaniques du béton. Des essais de compression sur des éprouvettes et de flexion de quatre points sur des poutres en béton de fibre ont été effectués.

Les résultats obtenus montrent que la résistance à la compression et à la flexion des bétons avec ajout de fibres métalliques sont améliorées considérablement par rapport au béton témoin. De plus, on remarque aussi que la ductilité des bétons fibrés est améliorée par rapport au béton témoin.

Mots clés : BAP ; Fibre métalliques ; Compression ; Flexion ; Béton de fibre ; Ductilité.

Abstract:

Concrete is the most used material in the field of construction but it remains a fragile material under the effect of the efforts of the accidental loads (earthquake shocks ...). For this reason, considerable research has been conducted to improve the mechanical flexural and compressive properties by adding fibers to a self-consolidating concrete consisting of two types of gravel 3/8 and 8/15. In addition, two types of sand, dune sand and limestone sand.

In this context, our objective is to study the effect of the addition of metal fibers on the mechanical properties of concrete. Compression tests were performed on specimens and four-point bending tests on fiber concrete beams.

The results obtained show that the compressive and flexural strength of concretes with the addition of metal fibers are considerably improved compared to control concrete. In addition, it is also noted that the ductility of fibered concrete is improved compared to control concrete.

Keywords: SCC; Metal fiber; Compression; Bending; Fiber concrete; Ductility.

المخلص:

الخرسانة هي أكثر المواد المستخدمة في مجال البناء لكنها تظل مادة هشة تحت تأثير الأحمال العرضية (صددمات الزلازل ...). لهذا السبب، فإن نتائج هذه الدراسة لها أهمية كبيرة في مجال الهندسة الميكانيكية وخصائص الضغط عن طريق إضافة الألياف إلى الخرسانة ذاتية الدمك من نوعين من الحصى 8/3 و 15/8. ونوعان من الرمل رمال الكتبان الرملية والحجر الجيري.

في هذا السياق، هدفنا هو دراسة تأثير إضافة الألياف المعدنية على الخواص الميكانيكية للخرسانة. تم إجراء اختبارات الضغط على عينات واختبارات الانحناء من أربع نقاط على عوارض الخرسانة المصنوعة من الألياف. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن القوة الانضغاطية وقوة الانحناء للخرسانة مع إضافة الألياف المعدنية قد تحسنت بشكل ملحوظ. بالإضافة إلى ذلك، تجدر الإشارة إلى أن ليونة الخرسانة ذات الألياف المعدنية قد تحسنت بالمقارنة مع الخرسانة العادية.

كلمات مفتاحية: الخرسانة ذاتية الدمك؛ الألياف المعدنية؛ ضغط؛ إنحناء؛ خرسانة الألياف؛ ليونة.